

**VALORACIÓN DE LA VULNERABILIDAD A LA SALINIZACIÓN DE LOS
SUELOS DEL DISTRITO DE RIEGO Y DRENAJE RUT POR LAS PRÁCTICAS
DE FERTILIZACIÓN**



**Oscar Eduardo Valencia Gallego
Alexander Rodríguez Zapata**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE LOS RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE (EIDENAR)
SANTIAGO DE CALI
2015**

**VALORACIÓN DE LA VULNERABILIDAD A LA SALINIZACIÓN DE LOS
SUELOS DEL DISTRITO DE RIEGO Y DRENAJE RUT POR LAS PRÁCTICAS
DE FERTILIZACIÓN**

PRESENTADO POR:

**Oscar Eduardo Valencia Gallego
Alexander Rodríguez Zapata**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TITULO DE
INGENIERO AGRÍCOLA**

DIRECTOR

**Andrés F. Echeverri
Ing. Agrícola; M.Sc; Candidato PhD.**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESUCELA DE LOS RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE (EIDENAR)
SANTIAGO DE CALI
2015**

Nota de aceptación

Profesora Martha Constanza Daza Torres
Jurado evaluador

Ingeniero Leonardo Castillo Sánchez
Jurado evaluador

Santiago de Cali, 1 de Junio de 2015

DEDICATORIA

A ti Madre.

Por haberme educado y soportar mi temperamento. Gracias a tu fortaleza y tu entereza para afrontar la vida, lo cual ha sido un ejemplo a seguir. ¡Infinitas gracias!

A ti Padre.

A ti te debo muchas cosas en la vida, te agradezco tu comprensión, tu paciencia absoluta y tu apoyo incondicional a todos mis proyectos.

A mis Hermanas.

Por brindarme siempre cariño y cuidarme en todo momento, gracias por su confianza, por su apoyo y amistad. ¡Gracias!

A Marcela Gálvez.

Por estar en todo momento de este proyecto recordándome mis prioridades y acompañándome en mis aciertos y desaciertos. Dedicándome su tiempo, sus ideas, su ternura y especialmente su amor.

Oscar Eduardo Valencia Gallego

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a COLCIENCIAS, La Universidad del Valle y al grupo de investigación REGAR por permitir el apoyo económico, los espacios y la infraestructura para llevar a cabo este y muchos otros proyectos.

Agradecemos a todo el personal de ASORUT que estuvo acompañándonos en el trabajo de campo, a los inspectores de riego, al ingeniero Leonardo Castillo y a los usuarios de ASORUT que prestaron sus predios para llevar a cabo los estudios pertinentes.

Agradecemos a los profesores que contribuyeron con nuestra formación, empleando sus energías y capacidades para enseñar, permitiéndonos aprender y fortalecer nuestros conocimientos.

Agradecemos al profesor Norberto Urrutia Cobo por generar el espacio para el conocimiento, liderando y fortaleciendo el grupo de investigación REGAR.

Agradecemos a nuestro director de trabajo de grado Andrés F. Echeverri por su incondicional apoyo y disposición para trabajar en este proyecto. Gracias a sus recomendaciones e incontables opiniones se fortalecieron aspectos de este proyecto.

Es importante agradecer a toda persona que en su corazón tenga la agricultura como un estilo de vida.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	9
1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. OBJETIVOS.....	12
2.1. OBJETIVO GENERAL	12
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	12
3. MARCO TEÓRICO	13
3.1. NUTRICIÓN VEGETAL.....	13
3.2. MACRONUTRIENTES	13
3.3. MICRONUTRIENTES	20
3.4. PRODUCTOS COMERCIALES PARA FERTILIZACIÓN.....	22
3.5. MÉTODO DE APLICACIÓN DE FERTILIZANTES.....	27
3.6. USOS DE FERTILIZANTES Y SU IMPACTO	29
4. METODOLOGÍA.....	35
4.1. LOCALIZACIÓN.....	35
4.2. DISEÑO DE MUESTREO	36
4.3. APLICACIÓN DE ENCUESTAS.....	38
4.4. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	39
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
5.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS PRÁCTICAS CULTURALES	46
5.2. MAPAS POR FACTOR DE VULNERABILIDAD	52
5.3. EVALUACIÓN MULTICRITERIO	57
5.4. CORRELACIONES ESPACIALES.....	59
6. CONCLUSIONES	62
7. RECOMENDACIONES.....	63
8. BIBLIOGRAFÍA.....	64
ANEXOS	69

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Caracterización general de los fertilizantes nitrogenados.	15
Tabla 2. Características generales de los fertilizantes fosfatados.....	17
Tabla 3. Fertilizantes potásicos.	18
Tabla 4. Micronutrientes y sus características.....	21
Tabla 5. Índice de salinidad.....	33
Tabla 6. Requerimientos nutricionales de los cultivos prevalentes del Distrito RUT.	34
Tabla 7. Muestreo aleatorio estratificado.	38
Tabla 8. Definición de factores, categorización y normalización.	41
Tabla 9. Matriz de calificación de relación entre parámetros y valores inversos. ...	42
Tabla 10. Consulta expertos.....	58
Tabla 11. Correlación entre IVSF y Conductividad eléctrica.	59
Tabla 12. Correlación entre IVSF y Amenaza por calidad de agua.....	60

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Proceso Haber, fuente de fertilizantes químicos de nitrógeno	15
Figura 2. Localización del Distrito RUT.	35
Figura 3. Fases metodológicas.	45
Figura 4. Criterio de aplicación de fertilizantes en los cultivos prevalentes del Distrito RUT.....	48
Figura 5. Métodos de aplicación de fertilizantes en los cultivos prevalentes del Distrito RUT.....	49
Figura 6. Índice de Salinidad de los fertilizantes aplicados en los cultivos prevalentes del Distrito RUT.....	50
Figura 7. Fraccionamiento de las dosis de fertilizantes en los cultivos prevalentes en el Distrito RUT.	51
Figura 8. Criterio de riego de los cultivos prevalentes del Distrito RUT.....	51
Figura 9. Método de riego para los cultivos prevalentes del Distrito RUT.	52
Figura 10. Mapa de criterio de aplicación de los fertilizantes.	53
Figura 11. Mapa del método de aplicación de fertilizantes.....	54
Figura 12. Mapa del índice de salinidad por fertilizantes.....	55
Figura 13. Mapa del fraccionamiento de las dosis de fertilizante.	56
Figura 14. Nivel de vulnerabilidad de salinización por fertilizantes.....	58

RESUMEN

El Distrito de Riego y Drenaje RUT está ubicado al norte del Departamento del Valle del Cauca y es considerado uno de los distritos más grandes del país pues comprende tres municipios (Roldanillo, La Unión, Toro) que en conjunto son considerados la despensa frutícola de Colombia. Por efecto de varios factores como la irrigación de cultivos con agua de baja calidad, variación de niveles freáticos que ascienden hasta casi la superficie del terreno y prácticas culturales inadecuadas en diferentes cultivos, los suelos del Distrito RUT se ven deteriorados por efectos de la salinización.

Este trabajo se realizó con el objetivo de valorar la vulnerabilidad a la salinización de los suelos del Distrito RUT por las prácticas de fertilización. Para ello, se realizó un muestreo aleatorio estratificado a un total de 96 predios, en donde se determinaron que predios de cada cultivo debían ser evaluados, se diseñó un formato de encuesta en el cual se clasificó la información necesaria sobre las prácticas culturales de cada predio, se analizó la información por medio de estadística descriptiva y mapas representativos del estado de las prácticas culturales. Se calculó un Índice de Vulnerabilidad de Salinización por Fertilizantes (IVSF) generando un mapa que se desarrolló gracias al método de Análisis Multicriterio asignando pesos a los factores más importantes. La generación de estos mapas se desarrolló en ArcGIS 10.3.1 utilizando la herramienta álgebra de mapas.

El mapa de IVSF obtenido determinó que más del 89% del total del área del Distrito presenta vulnerabilidad media y alta de salinización por el uso de fertilizantes.

1. INTRODUCCIÓN

El Distrito de Riego y Drenaje Roldanillo – La Unión – Toro (R.U.T.) comprende un área cultivable de 10200 ha que constituyen alrededor de 1200 usuarios y a su vez estos usuarios son acreedores de más de 1900 predios. (ASORUT, 2013). Después de su creación en el año de 1958 el Distrito RUT fue manejado por el Estado a través de instituciones como la CVC, INCORA, HIMAT, INAT donde después de 19 años el manejo y la administración pasó a ser parte de los usuarios en el marco de una política estatal de transferencia de la administración de distritos. Cerca de 15 años después de la administración por parte de los usuarios, el Distrito RUT comenzó a presentar una diversidad de problemas, entre estos: técnicos (operación, mantenimiento), ambientales (erosión, salinización de los suelos), financieros (cartera morosa), económicos (rentabilidad de los sistemas productivos existentes), sociales (conflictos) e institucionales (organización, administración), (Urrutia y Dossman, 2007). Toda esta problemática que aqueja al Distrito aumenta progresivamente el deterioro del suelo presentándose una mayor salinización del mismo; en consecuencia esto se ve reflejado en disminución de la fertilidad y caída de la producción local.

Algunas de estas consecuencias pueden ser el alto contenido de sales solubles en el agua para riego, variación del nivel freático que asciende hasta casi la superficie del terreno acumulando sales debido a la alta evaporación del agua, uso excesivo de fertilizantes por parte de los usuarios que utilizan dichos nutrientes sin un estudio de los requerimientos específicos de los cultivos (Reyes et al., 2005).

Para aumentar el rendimiento en las cosechas es necesario que los agricultores usen los fertilizantes de más fácil acceso de la zona, estos suelen ser fertilizantes químicos o una mezcla entre químicos y orgánicos, los cuales tienen una incidencia en el pH del suelo, llevándolo finalmente a una mayor degradación y como consecuencia una variación en la producción (Finck, 1988).

El uso de abonos orgánicos es una opción más ecológica que proviene de desechos animales o de residuos vegetales, en cultivos tecnificados como la caña de azúcar, vid y papaya se espera encontrar un mayor uso de fertilizantes con el interés de controlar la acidez o salinidad de los suelos; el uso de enmiendas y materia orgánica es cada vez más frecuente en todo el valle del río Cauca (Quintero, 1995).

Dada la incidencia negativa que puede generar en la fertilidad del suelo del Distrito RUT estas prácticas poco adecuadas de fertilización, la Universidad del Valle a través de la Escuela de Recursos Naturales y del Ambiente (EIDENAR), la Asociación de Usuarios del Distrito RUT (ASORUT) apoyados en el grupo de investigación REGAR, el cual propuso este proyecto para analizar la problemática, haciendo un análisis en campo para conocer las prácticas culturales que incidían significativamente en el problema, incluyendo las prácticas de fertilización en el Distrito y su posible efecto sobre el suelo, siendo uno de los aspectos más importantes estudiados para identificar la vulnerabilidad de salinización en el Distrito RUT.

2. OBJETIVOS

2.1.OBJETIVO GENERAL

- Valorar la vulnerabilidad a la salinización de los suelos del Distrito de riego y drenaje RUT por las prácticas de fertilización.

2.2.OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar las prácticas de fertilización usadas en los cultivos prevalentes en el Distrito de Riego y Drenaje RUT.
- Desarrollar un índice de vulnerabilidad que permita estimar el estado de las prácticas de fertilización, en función de su posible incidencia en la salinización de los suelos.
- Correlacionar los resultados obtenidos con otros parámetros biofísicos de la zona de estudio, tales como calidad de agua, cobertura del suelo y conductividad eléctrica del suelo.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. NUTRICIÓN VEGETAL

Se le llama nutrición vegetal al conjunto de procesos en los cuales las plantas toman sustancias del exterior (agua, sales minerales, dióxido de carbono, luz solar) y las transforman en materia y energía (proteínas, aceites y azúcares). Este sistema es caracterizado por 3 procesos fundamentales que en su orden se describen como la absorción y transporte de nutrientes hacia la hoja, luego viene el proceso de fotosíntesis y por último la utilización del alimento, (Borrego et al., 1994).

Para el proceso de absorción se destacan una serie de minerales que son indispensables para la germinación, crecimiento y desarrollo de los frutos, según su relevancia se les ha dado la clasificación de macronutrientes y micronutrientes que se presenta a continuación y que hace alusión a las proporciones que la planta necesita respectivamente.

3.2. MACRONUTRIENTES

Son los elementos que las plantas consumen en mayor proporción, se dividen en primarios (N, P, K) porque la planta necesita cantidades elevadas de ellos para realizar sus funciones vitales y secundarios (Ca, Mg, S) que son muy importantes pero los requerimientos es muy inferior al de los primarios (FAO, 2002).

3.2.1. Nitrógeno (N)

El nitrógeno es un elemento esencial para el desarrollo de la vida, hace parte de las cadenas de proteínas y se encuentra formando muchas combinaciones orgánicas vegetales. Según Navarro y Navarro (2003), se ha demostrado que el nitrógeno es el factor limitante más común del crecimiento de las plantas y un deficiente

suministro puede provocar reducción en la producción vegetal que garantiza de forma directa o indirecta la nutrición humana y animal.

En contraste el exceso de nitrógeno ocasiona un crecimiento blando, retardo en la madurez y maduración de la cosecha (Plaster, 2000).

Según Plaster (2000), el nitrógeno proviene del gas nitrógeno (N_2) de la atmosfera siendo necesario la transformación en proteína por parte de bacterias simbióticas o no simbióticas para su consumo o para una planta huésped, cuando las bacterias o la planta muere otros microbios mineralizan la proteína (amonificación) en iones de amonio (NH_4^+).

Estos iones pueden ser usados por la planta o convertidos por bacterias en iones de nitrito (NO_2^-) y luego en iones de nitrato (NO_3^-), posteriormente los nitratos son absorbidos por las plantas o microbios y finalmente son devueltos a la atmosfera completando el ciclo.

A causa de esto, la mayor fuente de nitrógeno que se encuentra disponible para las plantas es el suelo, excepto para un grupo de leguminosas que por relación simbióticas pueden fijar el nitrógeno atmosférico. En consecuencia, las plantas presentan un contenido de nitrógeno que oscila entre 5.5 y 6.5 % en peso seco, depositado en las partes más jóvenes de la planta, en las hojas se encuentra del 20 al 40 % de nitrógeno bajo la forma soluble siendo mayor cuando la planta está en floración (Navarro y Navarro, 2003).

El proceso de obtención comercial de fertilizantes nitrogenados se basa en el nitrógeno del aire, combinado con gas natural como fuente de hidrogeno y en presencia de calor, presión y un catalizador férrico se produce amoniaco, el cual puede usarse como fertilizante o como materia prima para otras fuentes de nitrógeno, como se muestra en la Figura 1. (Plaster, 2000).

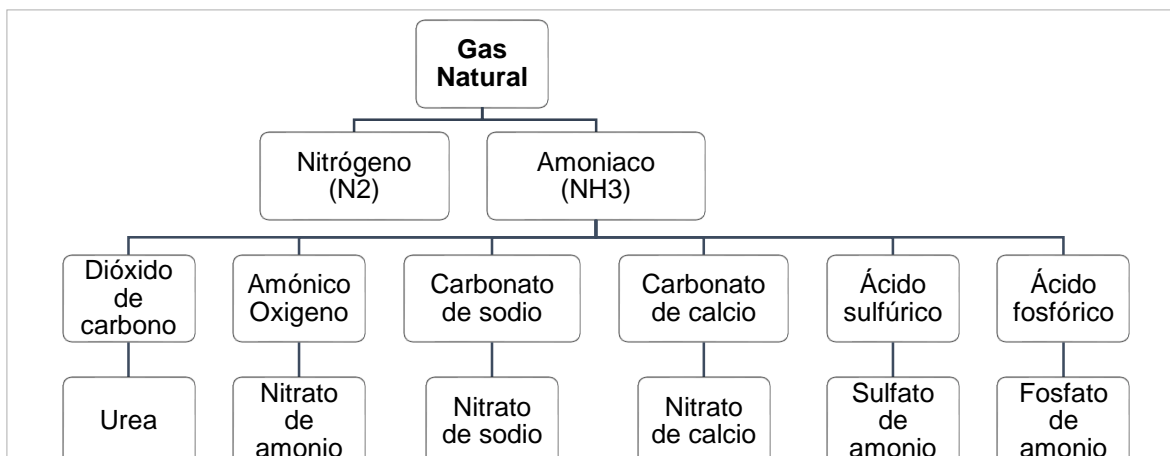


Figura 1. Proceso Haber, fuente de fertilizantes químicos de nitrógeno
Fuente: Plaster, (2000).

Un factor importante y decisivo al momento de escoger un fertilizante nitrogenado es el contenido de nitrógeno que este puede aportar, puesto que a mayor concentración se requiere una menor cantidad de fertilizante, haciendo que el costo de transporte y aplicación sea menor. Asimismo, la solubilidad es un factor determinante a la hora de conocer la concentración que debe usarse para aplicaciones en fertirriego o foliar; las características mencionadas anteriormente se muestran en la Tabla 1, para tres formas de fertilizantes nitrogenados.

Tabla 1. Caracterización general de los fertilizantes nitrogenados.

Fertilizante	Formula	% N	Solubilidad g/100g de agua	Humedad relativa critica
Urea	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	46	108	81 %
Sulfato de amonio	$\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$	21 (24 % S)	80	81 %
Nitrato de amonio	$\text{NO}_3(\text{NH}_4)$	26 -35	187	63 %

Fuente: Guerrero, (1981).

3.2.2. Fósforo (P)

Los primeros acercamientos hacia la producción industrial de fósforo para la agricultura se da en el año de 1842 donde se trata la roca fosfórica con ácido sulfúrico y se obtiene una mayor eficiencia en el producto resultante (Castro y Melgar, 2005). El fósforo en el suelo es suministrado por la meteorización, dándose una mayor disponibilidad para las plantas en el rango de pH desde 6.0 hasta 7.0; Entre el 25 y 90 por ciento del fósforo del suelo reside en la materia orgánica de tal forma que una hectárea típica contiene entre 900 y 1800 kg de fósforo en la capa arable del cual solo se encuentra en solución unos 4.5 kg disponibles (Plaster, 2000). Según Guerrero, (1981) el fósforo es abundante en la naturaleza en forma de sulfatos solubles en agua (fosfatos simples y triples, fosfatos monocálcicos, fosfatos monoamónico y fosfato diamónico o DAP), fosfatos de mediana solubilidad (fosfatodivale, fosfato dimagnésico, fosfato doble de magnesio y amonio) y fosfatos de baja solubilidad (roca fosfórica, las escorias Thomas y fosfatos térmicos). El fósforo estimula el crecimiento en menor medida que el nitrógeno, entre sus funciones se encuentra la división celular, la reproducción, ayudar al desarrollo de las raíces, regular el consumo de agua en la planta y acelerar la madurez (Plaster, 2000). Al igual que en todos los fertilizantes comerciales, es necesario conocer su composición y grado del fertilizante, para decidir entre los fertilizantes fosfatados cual es el más adecuado al tipo de suelo con el fin de cumplir con los requerimientos nutricionales del cultivo tratando de mantener o cambiar favorablemente las condiciones propias del suelo, dicha información se encuentra consignada en la Tabla 2, para los fertilizantes fosfatados.

Tabla 2. Características generales de los fertilizantes fosfatados.

Fertilizante	Portador del P	P		pH de la solución concentrada	Humedad R crítica a 20° C (%)	Contenido de otros nutrientes
		P2O5 típico (%)	soluble en agua (%)			
Superfosfato triple	Ca (H ₂ PO ₄) ₂ H ₂ O	46	85	1.0	94.1	Ca : 14 %
Superfosfato simple	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ H ₂ O	20	83	1.0	94.1	Ca : 20 % S : 10%
Fosfato diamónico	(NH ₄) ₂ HPO ₄	46	95	8	82.8	N : 18%
Fosfato monoamónico	NH ₄ H ₂ PO ₄	50	95	3.47	91.6	N : 10 %
Fosfato bicalcico	Ca HPO ₄	40	4			Ca : 22 %
Escorias Thomas	Silicofosfatos de calcio	10 - 20	< 2			Ca : 30 % Mg : 2%
Roca fosfórica	Apatitas	20 - 38	< 1			

Fuente: Guerrero, (1981).

3.2.3. Potasio (K)

La aplicación de potasio es limitada debido a su alto contenido en suelos no sobreexplotados, el potasio es el séptimo elemento en abundancia en la corteza terrestre pero es muy reactivo y tiene afinidad con muchos elementos lo que hace que no se encuentre libre o disponible para la planta de forma abundante (Thompson y Troeh, 2002 y Guerrero, 1981).

Comercialmente en Colombia se registra como portadores de potasio el cloruro de potasio, sulfato de potasio, nitrato de potasio y sulfato de potasio-magnesio, siendo

el cloruro de potasio el más usado por su concentración. La Tabla 3 presenta la formula molecular y composición de cada uno de estos.

Tabla 3. Fertilizantes potásicos.

Fertilizante	Fórmula	% K ₂ O	Solubilidad g/100g de agua 20°C	Humedad relativa critica
Cloruro de potasio	KCl	60 %	35	84.0 a 20°C
Sulfato de potasio	K ₂ SO ₄	60 % S : 16 %	12	96.3 a 20°C
Nitrato de potasio	KNO ₃	44% N : 13%	38	90.5 a 30°C
Sulfato doble potasa-magnesia	K ₂ Mg(SO ₄) ₂	20% MgO:16.5% S : 21% Cl < 2.5%	90.3	75% a 30°C

Fuente: R. Guerrero, (1981).

3.2.4. Calcio (Ca)

Es un elemento muy influyente en la fertilidad, estructura y la asimilabilidad de otros elementos en el suelo, se absorbe en forma de Ca⁺²; se encuentra en las plantas principalmente en las hojas y los tallos en forma de mineral soluble llamado sulfato cálcico (SO₄Ca), también se encuentra como mineral insoluble en forma de fosfato y carbonato cálcicos ((PO₄)₂Ca₃ Y CO₃Ca) en las leguminosas, crucíferas y remolacha, suele encontrarse como compuestos orgánicos conocidos como oxalatos y pectinatos cálcicos (Navarro y Navarro, 2003). Este elemento no se fija al suelo, tampoco es retenido en la materia orgánica, por el contrario, es el principal ocupante de complejo de intercambio de catión, de tal forma que las deficiencias de calcio se presenten en suelos ácidos o arenosos lixiviados (Plaster, 2000).

El calcio es esencial en los agrios ayudando principalmente en la regulación en la absorción de nitrógeno y control de los efectos desfavorables del exceso de potasio,

sodio y magnesio, además de contribuir a la floración, brotación y fructificación, llegando a ser extraído medianamente 10g por kilogramo de fruto producido. El calcio evita que se absorban elementos como el potasio, además causa la inmovilidad del zinc, cobre, fósforo y puede llegar a inducir una clorosis férrica, para el cultivo de cítricos es necesario controlar la relación Ca/K + Mg (Navarro y Navarro, 2003). El calcio es esencial para el crecimiento de las raíces y como un constituyente del tejido celular de las membranas. Aunque la mayoría de los suelos contienen suficiente disponibilidad de Ca para las plantas la deficiencia puede darse en los suelos tropicales muy pobres en Ca. Sin embargo, el objetivo de la aplicación de Ca es usualmente el del encalado, es decir reducir la acidez del suelo (FAO, 2002).

3.2.5. Magnesio (Mg)

Los fertilizantes magnésicos son minerales naturales procedentes de yacimientos salinos o de calizas magnésica extraídas de dolomitas en el proceso de obtención de la cal. Las formas más comunes de encontrar el magnesio son el sulfato de magnesio, cloruro de magnesio, óxido de magnesio, calizas magnesias entre otros (Finck, 1988). El magnesio es absorbido por la planta en forma de Mg^{+2} y es necesario para el proceso de fotosíntesis debido a que forma parte de la molécula de clorofila, este elemento es muy móvil dentro de las plantas y puede ir de las hojas viejas a las hojas nuevas cuando hay deficiencia (Navarro y Navarro, 2003).

La deficiencia de magnesio no es un problema muy común y tampoco que lleve a consecuencias críticas irreversibles por eso no se le da la importancia que requiere, el suelo en la mayoría de los casos puede sostener la necesidad de la planta. Las plantas que más sienten la deficiencia suelen ser los frutales como el manzano, el maíz, la remolacha azucarera, tomate y ciertas leguminosas; los síntomas más comunes por deficiencia son la clorosis en algunas zonas del limbo, coloraciones púrpuras y brillantes en las hojas, desprendimiento de las hojas afectadas prematuramente, la deficiencia hace que el árbol sea muy sensible a las bajas temperaturas y heladas, por el contrario las alteraciones producto del exceso

suelen ser la deformación en las hojas jóvenes, daños en las raíces y necrosis. (Guerrero, 1981).

3.2.6. Azufre (S)

El azufre proviene en su gran mayoría de las rocas ígneas que se degrada en presencia de oxígeno generando sulfatos y se analiza como la forma mineral del azufre; por el contrario, sin oxígeno el azufre permanece en su forma original, el azufre orgánico proviene de restos vegetales y animales, pero debe ser transformado por microorganismos para poder ser asimilable a la planta; según Thompson y Troeh (2002).

Según Navarro, (2003) el azufre es absorbido por la planta en forma de SO_4^{-2} o SO_3^{-2} por las raíces y de la atmósfera como dióxido de azufre por las hojas; una planta puede contener entre 0.1 y 1% de S en peso seco, el contenido de azufre en el suelo se supone entre 0.02 y 0.05 % en suelos húmedos mientras que en zonas áridas pueden acercarse al 1%, factor que depende del contenido de materia orgánica y las precipitaciones. La deficiencia de azufre se produce por el desbalance entre los macronutrientes, debido a un exceso de la aplicación de los elementos primarios (N, P, K), (Thompson y Troeh, 2002). Esta deficiencia se evidencia en la planta retrasando el crecimiento del cultivo, generando clorosis uniforme de las hojas, coloración bronceada con necrosis en las puntas y clorosis en las hojas más jóvenes, el exceso genera clorosis, amarillamiento seguidos de necrosis y quemaduras en las hojas además de la dificultad en el crecimiento (Navarro y Navarro, 2003).

3.3. MICRONUTRIENTES

Los elementos menores como el boro, hierro, manganeso, cobre, zinc y otros se requieren en una cantidad mínima en la planta puesto que tienen un elevado grado de eficacia en pequeñas dosis, siendo suficientes para alcanzar efectos óptimos.

Por otro lado es conocido que tanto una pequeña deficiencia, como un mínimo exceso pueden ocasionar graves trastornos. (FAO, 2002).

En la Tabla 4 se presenta los micronutrientes como el boro, hierro, manganeso, cobre, zinc y molibdeno, con su importancia, deficiencia tanto en el suelo como en la planta además de la dosis para la aplicación por hectárea.

Tabla 4. *Micronutrientes y sus características.*

Micronutriente	Deficiencia planta	Deficiencia suelo	Importancia	Fertilizante y dosis
Boro (B)	Atrofia y deformación en las zonas de crecimiento	Suelos de textura ligera	Germinación del polen, frutos, flores y raíces	borax o superfosfatoborato; 16-34 kg/ha
Hierro (Fe)	Hojas pequeñas, coloración amarilla o pálida	Suelos fuertemente calcáreos	Respiración, fotosíntesis y reducción de nitratos o sulfatos	20-25 kg/ha
Manganeso (Mn)	Clorosis similar a la del magnesio	Suelos con altos niveles de materia orgánica (MO)	Formación de la clorofila, reducción de nitratos	Sulfato de manganeso; 45-67 kg/ha
Cobre (Cu)	Clorosis que motiva la defoliación y la muerte de ramas	Suelos arenosos y suelos con alto contenido de MO	Activa diversos enzimas vegetales, está implicado en la formación de clorofila	Depende de la CIC del suelo; CIC alta-300 kg/ha, CIC baja-5 kg/ha
Zinc (Zn)	Atrofia de los cloroplastos, acaparamiento y enanismo	En suelos básicos es poco móvil	Participa en la formación de proteínas y favorece el tamaño de los frutos	Sulfato de Zinc; 0,5-1,5 lt/ha
Molibdeno (Mo)	Disminuye el contenido de clorofila, aumenta actividad respiratoria	Suelos arenosos y suelos ácidos	Absorción de nitratos y fijación de nitrógeno atmosférico	Molibdato de sodio; 2,2-4,5 kg/ha

Fuente: Jacob y Uexkull, (1991).

3.4.PRODUCTOS COMERCIALES PARA FERTILIZACIÓN

En el mercado agrícola se encuentran productos fertilizantes que suplen los requerimientos del cultivo. Dependiendo del proceso de fabricación, las partículas de los fertilizantes minerales pueden ser de muy diferentes tamaños y formas: gránulos, píldoras, cristales, polvo de grano, etc. La mayoría de los fertilizantes vienen en forma sólida. Debido a su simplicidad, flexibilidad y seguridad (contra la intemperie y grandes pérdidas así como adulteración) la bolsa de 50 kg es el principal método de distribución para los pequeños agricultores y más conveniente (FAO, 2002). Estos productos para fertilización se encuentran divididos en fertilizantes químicos y abonos orgánicos que serán presentados a continuación:

3.4.1. Fertilizantes químicos

Cualquier material natural o industrializado, que contenga al menos cinco por ciento de uno o más de los nutrientes primarios (N, P_2O_5 , K_2O), puede ser llamado fertilizante. Los fertilizantes fabricados industrialmente son llamados fertilizantes químicos o minerales. Los fertilizantes que contienen solo un nutriente primario son denominados fertilizantes simples. Aquellos que contienen dos o tres nutrientes primarios son llamados fertilizantes complejos o multinutrientes (FAO, 2002). Los fertilizantes son sustancias o generalmente mezclas químicas que se aplican al suelo haciéndolos más fértiles, estos fertilizantes aportan nutrientes necesarios para proveer a la planta un desarrollo óptimo y por ende un alto rendimiento en la producción de las cosechas, cuando se analiza el contenido de un fertilizante debe tenerse en cuenta el aporte de cada elemento que este puede suministrar al suelo.

➤ Fertilizantes Simples

• Fertilizantes Nitrogenados

Dentro de este grupo se encuentran tres tipos de fertilizantes simples a caracterizar, los cuales son los siguientes:

Nítricos: (nitrato de sodio, de calcio y de potasio) este tipo de fertilizantes, se adaptan rápido a las deficiencias del nitrógeno, alcanzando la región radicular de la planta aun cuando los fertilizantes se esparzan sobre la superficie del terreno. Sin embargo su aplicación requiere buenas prácticas agrícolas para evitar en algunos casos las perdidas por evaporación de amoniaco en el aire (FAO, 2002).

Algunos de los fertilizantes simples más utilizados en los cultivos de las regiones semiáridas de los subtrópicos es el nitrato amónico cálcico que se encuentra por encima del 27 por ciento de N (partes iguales de N como amoniaco y como nitrato) FAO, (2002).

Amoniacales: (sulfato de amonio, cloruro de amonio, amonio anhídrido, soluciones amoniacales) este tipo de fertilizantes no actúan con la rapidez de los fertilizantes nítricos puesto que el ion de amonio (NH_4^+) es adsorbido por el suelo pero motiva la protección a la acción percolante.

Este fertilizante es usado regularmente por su sencilla elaboración, sus benéficas propiedades físicas y su bajo costo, sin embargo es importante resaltar que el amonio se retiene por más tiempo en el suelo que el nitrato debido a que sus cargas eléctricas interactúan con las arcillas del suelo; por esta razón el uso de este fertilizante se recomienda especialmente en la pre siembra y al momento de la misma MADR, (2012).

Amidos: (cianamida de calcio, urea, urea forma, urea-Z) este a diferencia de los anteriores no es tomado directamente por la planta sino hasta que sufre un cambio químico en el suelo. La cianamida de calcio resulta ser el fertilizante de mayor costo, pero posee ciertas cualidades que hacen su uso un poco más lucrativo, como un alto contenido de calcio activo, su reacción alcalina y su posible empleo como herbicida.

La urea con su contenido de 46 % de nitrógeno, resulta ser el fertilizante nitrogenado de mayor concentración. En vista de su alto grado de solubilidad y fácil asimilación foliar, se emplea frecuentemente en aspersiones nutritivas.

- **Fertilizantes Fosfóricos**

Estos tipos de fertilizantes también pueden subdividirse en tres grupos según sea la forma de combinación y el grado de aprovechamiento que presente su ácido fosfórico.

Solubles en agua: (superfosfato, superfosfato doble, fosfato mono amoniaco, fosfato biamoniaco) una gran ventaja de este tipo de fertilizantes es su rápido absorción, esto hace que pasen a quedar a disposición de las plantas jóvenes durante el tiempo que no hayan alcanzado su desarrollo radicular total y no puedan responder a la presencia de ácido fosfórico fácilmente aprovechable.

Solubles en ácido cítrico o citrato de amonio: (escorias básicas, fosfato de Rhenania, fosfato bicalcico) este tipo de fertilizantes son especialmente propicios para la fertilización de suelos ácidos, ya que estos son menos propensos a fijarse irreversiblemente en forma de fosfato de hierro o aluminio que los fertilizantes solubles en agua.

Fosfatos con ácidos fosfóricos insolubles en los solventes antes mencionados: (fosfatos roca) este tipo de fertilizantes constituyen la materia prima para la elaboración de fertilizante fosfóricos, su contenido de ácido fosfórico puede fluctuar ampliamente puesto que no se puede dar especificaciones exactas acerca de su valor fosfórico.

- **Fertilizantes Potásicos**

Este grupo se caracteriza por presentar sin excepción alguna, todos sus tipos de fertilizantes solubles en agua y ser de fácil asimilación por la planta. A los fertilizantes potásicos se les clasifica según su contenido de potasio y clase de anión que le acompaña. Los tipos de mayor importancia son el cloruro de potasio (50% de K_2O), cloruro de potasio (60% de K_2O), sulfato de potasio (48-52% de K_2O), sulfato doble de potasio y magnesio (26-30% de K_2O ; 9-12% de MgO), bicarbonato de potasio ($KHCO_3$) (Jacob y Uexkull 1991).

Los sulfatos, como los cloruros de potasio, se consideran de igual valor para la mayoría de las plantas. El ion cloro a causa de su fácil traslación en el suelo, sufre

una percolación en las regiones húmedas, mientras el ion potasio es absorbido por las micelas coloidales del mismo.

El sulfato doble de potasio y magnesio deberá considerarse análogo al sulfato de potasio, resultando apropiado para aquellos cultivos con alta demanda de magnesio, así como para la fertilización de suelos ligeros, deficientes en él.

El bicarbonato de potasio ha hecho su aparición en el mercado como fertilizante comercial siendo fácilmente soluble en agua. Es un tipo de fertilizante muy propicio para aplicarse en forma de aspersiones foliares en suelos donde la intensiva fertilización química cuenta con altas concentraciones salinas (Jacob y Uexkull, 1991).

➤ **Fertilizantes Compuestos y Complejos**

Para una fertilización armónica se necesita aplicar generalmente los tres elementos primarios los cuales son; Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K). La elaboración de este tipo de fertilizantes se puede realizar a través de una mezcla mecánica de fertilizantes simples o a través de una reacción química.

La mezcla mecánica de fertilizantes simples puede ofrecer algunas desventajas ya que la gran mayoría de fertilizantes simples contienen una cantidad considerable de elementos secundarios o balastre, además de que todos los fertilizantes simples no son compatibles entre sí. Es por esto que se deben seguir algunos consejos a la hora de mezclarlos, los cuales son:

- Se debe evitar mezclar fertilizantes amoniacales con fertilizantes de reacción alcalina ya que esto puede ocasionar pérdidas de nitrógeno en forma de amoníaco libre.
- Ninguno de los fertilizantes fosfóricos solubles en agua deberán mezclarse con fertilizantes que contengan cal libre, puesto que esta puede reducir el ácido fosfórico soluble.
- Diferentes fertilizantes higroscópicos fácilmente solubles tienden a la formación de grumos después de efectuada la mezcla, es por esto que se recomienda mezclarlos inmediatamente antes de su aplicación.

Las reacciones químicas han resultado ser de mayor importancia que los fertilizantes obtenidos por medio de un mezclado mecánico. Estas reacciones se caracterizan por su elevado contenido de nutrientes, su uniforme granulación y sus buenas propiedades físicas. Estos fertilizantes fabricados por medio de reacciones químicas presentan las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas

- La utilización de este tipo de fertilizantes evita errores en la fertilización y más cuando los agricultores son poco conocedores del empleo científico de estos fertilizantes.
- Ahorro de espacio y costos de almacenamiento puesto que estos fertilizantes poseen propiedades excepcionalmente buenas que permiten su adecuado almacenamiento.

Desventajas

- El uso de fertilizantes complejos no permite el uso de nutrientes individuales (N, P, K).
- Su costo por unidad resulta ser generalmente mayor que los fertilizantes simples.

3.4.2. Abonos orgánicos

La mayoría de los abonos orgánicos contienen varios elementos nutritivos (N, P, K y elementos menores), cuya concentración es baja en comparación con los fertilizantes químicos. Pero a pesar de estos, este tipo de abonos orgánicos deberán valorarse no por su contenido nutricional sino por su benéfico efecto en el suelo.

Los abonos orgánicos activan los procesos microbiales, fomentando su estructura, aireación y capacidad de retención de humedad. Así mismo, representa una fuente de lento y uniforme suministro de nitrógeno, reforzando el contenido proteico de las plantas. En virtud de estas propiedades se puede decir que los abonos orgánicos son los precursores de los fertilizantes químicos puesto que los primeros crean condiciones necesarias para la eficacia del empleo de fertilizantes químicos (los

abonos orgánicos favorecen las propiedades edáficas y los fertilizantes químicos aportan nutrientes vegetales) (FAO, 2002).

➤ **Estiércol y Compost**

En muchas regiones el estiércol y el compost resultan ser los abonos orgánicos más usuales. Su contenido de nutrientes suele cambiar ampliamente según sea el tipo de animal de procedencia, el forraje que reciba y el mantenimiento que se le brinde. Para tener una idea de los efectos nutritivos de este tipo de abonos, su contenido en promedio resulta ser de 0.3-0.6% de N, 0.1-0.3% de P_2O_5 y 0.3-0.5% de K_2O . (Suquilanda, 1995).

➤ **Abonos Verdes**

Dependiendo las condiciones de humedad los abonos verdes representan una económica y eficaz contribución al mejoramiento de la fertilidad del suelo. Si los abonos verdes a utilizar son leguminosas, aportan considerables cantidades de nitrógeno y su fijación será mejor en cuanto mejor sea el abastecimiento fosfórico y potásico del suelo (Suquilanda, 1995).

Ventajas de las leguminosas como abono verde del suelo:

- Son una lenta y duradera fuente de nitrógeno.
- Liberan y movilizan sustancias minerales del suelo.
- Incrementan la actividad microbiana.
- Abastecen al subsuelo con materia orgánica.
- Son medios de defensa contra la erosión.

3.5. MÉTODO DE APLICACIÓN DE FERTILIZANTES

El método de aplicación de fertilizantes es igual de importante que determinar la cantidad requerida por el cultivo, esto se basa en que los fertilizantes minerales poseen índices importantes de lixiviación o volatilidad lo que hace que el cultivo solo aproveche una parte del total aplicado, si a esto se le suma una aplicación no uniforme o lejos de las raíces puede lograrse que la planta no alcance a obtener lo

que necesita o que se genere un desbalance en las cantidades disponibles de nutrientes generando accidentalmente un déficit en la nutrición (Castro y Gómez, 2010).

3.5.1. Aplicación al voleo

Consiste en aplicaciones manuales o con maquinaria esparcidora al azar tratando de ser homogéneo. Suele hacerse antes de la siembra en cultivos de alta densidad (FAO, 2002), este método no es el más eficiente debido a que estimula el crecimiento en los entresurcos de malezas además de su baja homogeneidad y pérdidas por quedar expuesto al sol y al viento. Sin embargo esta labor es favorable para aplicación de enmiendas o fertilizantes fosfóricos que requieren ser incorporados antes de la siembra y permitir el tiempo necesario para que sean asimilables al momento de la germinación. Por otro lado, esta es de las pocas formas de aplicación que se tiene para abonos sólidos a frutales y arbustos sin afectar sus raíces (Castro y Gómez, 2010).

3.5.2. Aplicación en bandas o hileras

El fertilizante es concentrado en partes específicas del suelo en franjas o hileras antes o durante la siembra buscando que la semilla quede al lado o encima del fertilizante, pero nunca en contacto directo con este, la aplicación en hileras se justifica en cultivos sembrados en surcos con distancias considerables como es el caso del maíz o la caña de azúcar (FAO, 2002).

Según Castro y Gómez (2010), se hace manual o mecánicamente, se adiciona el fertilizante a lo largo del surco de 5 cm a 8 cm de la semilla o la planta, posteriormente se debe usar una cultivadora para incorporar el fertilizante y controlar las malezas.

3.5.3. Aplicación en corona

Se refiere a la aplicación del fertilizante alrededor de la semilla, cerca del tallo o debajo de su sombra dependiendo del cultivo, este método es aplicable en arbustos, soca de caña panelera (siembra mateada), banano o especies forestales, como

precaución el fertilizante debe taparse en forma de aporque, en las zonas de ladera se debe aplicar solo en la media corona superior para evitar su pérdida por escorrentías (Castro y Gómez, 2010).

3.5.4. Aplicación foliar de fertilizantes

Se usa para resolver problemas específicos, generalmente asociados a épocas críticas del cultivo, relacionados con requerimientos de micronutrientes o para inducir o retrasar etapas fenológicas con fin de acortar o alargar una etapa logrando cosechas anticipadas o tardías. Castro y Gómez, (2010) resaltan una división en el enfoque que se le da a la fertilización foliar encontrando cuatro clases: primero se encuentra la fertilización foliar correctiva que busca subsanar deficiencias puntuales, como es el estrés, en segundo lugar se encuentra la fertilización foliar preventiva que busca controlar las limitantes edáficas, ambientales, las altas exigencias nutricionales además de preparar a la planta para futuros periodos de estrés, en tercer lugar se tiene la fertilización suplementaria, consiste en aplicaciones de mantenimiento de micronutrientes en todo el ciclo o puntuales por etapa para Ca, Mg, S, N, K, P, finalmente la fertilización foliar estimulante, permite controlar el estrés, homogeneizar, retardar o acelerar ciclos o procesos fisiológicos para una cosecha más rentable.

3.6. USOS DE FERTILIZANTES Y SU IMPACTO

Es evidente el interés y el cuestionamiento de los agricultores, técnicos y profesionales en el tema de la fertilización dentro de la problemática de salinización de los suelos. En consideración con la prioridad que se le ha designado a este tema, se hace necesario hacer una reflexión frente a las prácticas de fertilización tanto químicas como orgánicas e intentar analizar sus efectos sobre el suelo, la producción, el ambiente y la calidad de vida de las personas aquejadas por la situación.

En las zonas tropicales, favorecidas por las temperaturas cálidas y altos porcentajes de humedad durante todo el año tanto la producción de biomasa, como la

producción agrícola, son procesos muy intensos. Esta es una de las razones de porque en estos suelos basados en el monocultivo, sistemas de labranza no conservacionista, utilización de insumos químicos de manera inadecuada, se contribuye a la reducción de la fertilidad de los suelos de la región en donde también el clima es un factor determinante, pues en climas áridos y semiáridos se presentan pocas lluvias y una alta evaporación, lo cual permite poco lavado y a su vez, altas concentraciones de sales en ellos (Tenorio, 1986). Todas estas acciones anteriores fortalecen el desequilibrio de los nutrientes del suelo y la materia orgánica tornándose frágil y favoreciendo problemas, tales como:

- Reducción del área cultivable.
- Aumento de la salinización.
- Afectación de los ecosistemas.
- Disminución de la calidad de vida de las personas (indirecto).

En la medida que estas prácticas inconscientes se acentúen, las condiciones para mantener la producción vegetal se ven afectadas. Frecuentemente la fertilización se realiza sin un conocimiento adecuado de las condiciones y funcionamiento del suelo, las necesidades reales de los cultivos y las leyes que rigen la nutrición vegetal, si a esto se le suma los altos rendimientos exigidos y estándares de calidad es evidente que muchos cultivos no alcanzan a ser rentables. Hay que tener en cuenta que el beneficio de la explotación agrícola es la diferencia entre ingresos y gastos, donde los ingresos son difíciles de incrementar y solo nos queda la disminución de los gastos para lograr mayores beneficios (Gómez, 2002).

Algunos estudios que comparan el uso de fertilizantes químicos minerales llegan a la conclusión de que al aplicar abono orgánico y mineral con la misma dosis de nitrógeno a un cultivo de maíz, el fertilizante mineral tiene un mayor impacto en el rendimiento de grano pero su biomasa se considera igual para los 2 tipos de fertilizantes, en cuanto a los nitratos residuales en el suelo se encontró que el fertilizante mineral acumula cantidades mayores en el suelo con un alto riesgo de

lixiviación y un impacto negativo en el medio ambiente, por el contrario las parcelas tratadas con abono orgánico generan un índice muy bajo de NO_3 residual, sugiriendo que el nitrógeno no utilizado no se pierde, sino que se inmoviliza en el suelo representando hasta un 25% del total de NH_4^+ aplicado como abono orgánico. Finalmente Biau *et al.*, (2012) concluyen que la fertilización orgánica genera mayores beneficios al suelo, mejorando su calidad en diferentes aspectos, mientras que el fertilizante mineral genera un mayor rendimiento en el grano.

Estudios realizados por Berenguer (2008), en el Valle del Ebro, España, mostraron que las tasas de fertilizantes nitrogenados aplicados en maíz son aproximadamente de 300-350 Kg de nitrógeno por hectárea, basándose en la posible absorción de N de la planta, sin tener en cuenta los altos niveles de N en la pre siembra comunes en la zona, por causa del uso excesivo en cosechas anteriores que tiende a acumularse en el suelo. Como resultado de ello, las aguas subterráneas en estas áreas están contaminadas con nitratos superiores a 50 mg/lit que es la concentración máxima permitida por la Unión Europea. Adicional a esto se conoce que la fertilización excesiva con nitrógeno no produce un rendimiento de grano adicional, sino un consumo de lujo, reduce la rentabilidad del cultivo y es una fuente potencial de contaminación por nitratos (Broadbent y Carlton, 1978 y Coax *et al.*, 1993 Citado por Berenguer (2008)).

Un estudio similar en el municipio de Murcia (España) detalla como en las últimas décadas la agricultura intensiva con grandes necesidades de agua, combinado con una mayor incidencia de eventos de sequía extrema han obligado al uso de agua de mala calidad que combinada con el aumento en el uso de fertilizantes y desechos de ganado con miras a incrementar los rendimientos, han generado procesos de degradación, reducción de la fertilidad del suelo y salinización de los suelos. Los residuos de los fertilizantes encontrados en muestras de suelo analizadas fueron: fosfatos, amonio, nitrato y potasio sin llegar a representar un riesgo alto en la salinización a menos de que se siga usando junto a agua de riego con baja calidad (Acosta *et al.*, 2011). Como medida de contingencia Darwish *et al.* (2005) sugiere

que el aumento en el contenido de materia orgánica mejora la capacidad de amortiguación del suelo contra los rápidos cambios en la salinidad que se producen con mayor impacto en verano que en invierno, siendo una alternativa la aplicación de enmiendas orgánicas antes de las épocas secas.

3.6.1. Índice de salinidad

Los fertilizantes pueden aumentar la salinidad edáfica debido a la concentración de sales que estos presentan, este incremento salino afecta la productividad agrícola (López et al., 2013). Según Guerrero, (2004), se define el índice de salinidad de un fertilizante como una cifra indicativa del grado en el cual una cantidad dada del producto incrementa la presión osmótica de la solución del suelo, para este índice se toma como patrón de referencia el nitrato de sodio. El índice de salinidad es particularmente útil para seleccionar fertilizantes que no deben ser aplicados cerca de la semilla, porque estos pueden producir quemaduras (Cabello, 1996). Los fertilizantes que mayor índice de salinidad presentan son el cloruro de potasio, el nitrato de amonio y el nitrato de sodio (Guerrero, 2004). La Tabla 5 presenta el índice de salinidad de algunos fertilizantes.

3.7. REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE LOS CULTIVOS

PRINCIPALES DEL RUT

El Distrito RUT es conocido por su vasta extensión cultivada por gran cantidad de cítricos, caña, maíz, soya, uva y diferentes frutales. Esta gran cantidad de cultivos requieren de un soporte nutricional que adiciona al suelo una gran variedad de elementos que suple las deficiencias químicas del mismo para obtener un adecuado crecimiento de las plantas o los cultivos. En la Tabla 6 se presentan los cultivos principales del Distrito son caña de azúcar, maíz, guayaba, pasto, vid, papaya, maracuyá, melón y soya.

Tabla 5. Índice de salinidad.

Material	Índice de salinidad	Índice sal parcial por unidad de nutrientes de las plantas
Amoniaco anhídrico	47.1	0,572
Nitrato de amonio	104.7	2,99
Nitrato de amonio-cal	61.1	2,982
Fosfato de amonio (11-48)	26.9	2,442
Sulfato de amonio	69.0	3,253
Carbonato de calcio (piedra caliza)	4.7	0,083
Cianamida cálcica	31.0	1,476
Nitrato de calcio	52.5	4,409
Sulfato de calcio (yeso)	8.1	0,247
Fosfato diamónico	29.9	1,614
Dolomita (carbonatos de calcio y magnesio)	0.8	0,042
Sal potásica en bruto, un 13,5%	105.9	8,475
Sal potásica en bruto, un 17,5%	109.4	6,253
Sales de estiércol, el 20%	112.7	5,636
Sales de estiércol, 30%	91.9	3,067
Fosfato monoamónico	34.2	2,453
Fosfato monocálcico	15.4	0,274
Nitrato de sodio	100.0	6,06
Solución de nitrógeno 37%	77.8	2,104
Solución de nitrógeno 40%	70.4	1,724
Cloruro de potasio, 50%	109.4	2,189
Cloruro de potasio, 60%	116.3	1,936
Cloruro de potasio, 63%	114.3	1,812
Nitrato de potasio	73.6	5,336
Sulfato de potasio	46.1	0,853
Cloruro de sodio	153.8	2,899
Sulfato de potasio-magnesio	43.2	1,971
Superfosfato, 16%	7.8	0,487
Superfosfato, 20%	7.8	0,39
Superfosfato, el 45%	10.1	0,224
Superfosfato, el 48%	10.1	0,21
Uramon	66.4	1,579
Urea	75.4	1,618

Fuente: FAO, (1994).

Tabla 6. Requerimientos nutricionales de los cultivos prevalentes del Distrito RUT.

Cultivo	Producc.	N	P	K	S	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Cl	Fuente
Caña	100t/ha	111	24	199	enmienda	60,0	52,0	7,4	1,7	0,5	0,1	0,2	3,9	Cenicaña, (2002)
Caña	100t/ha	105	26	208	-	69,0	92,0	9,4	2,0	0,5	0,2	0,2		Cenicaña, (2002)
Maíz	9t/ha	198	36	171	36,0	27,0	27,0	1,1	1,7	0,5	0,1	0,2	3,9	
Maíz Pioneer	9t/ha	198	81	225										
Maíz	6t/ha	120	50	120	25,0		40,0							Guerrero, (1995)
Guayaba	50t/ha	145	115	205		1,0	1,0							
Guayaba	50t/ha	205	25	250		145,0	20,0							
Guayaba	40t/ha	116	92	164		8,0	0,1							Corpoica, (2003)
Pasto	10t/ha	120	50	216			82,0							Guerrero, (1995)
Pangola	23t/ha	299	107	430			111,0							Guerrero, (1995)
Pasto	10t/ha	144	54	216			50,0							Guerrero, (1995)
Elefante	25t/ha	302	146	604			104,0							Guerrero, (1995)
Pasto Pará	8t/ha	80	39	192			26,0							Guerrero, (1995)
Pasto Pará	24t/ha	307	98	459			131,0							Guerrero, (1995)
Maracuyá	40t/ha	115	10	100	14,0	83,0	8,0	0,8	0,3	0,2	0,2	0,3		Guerrero, (1995)/CIAT, (2012)
Maracuyá	20t/ha	80	15	120	20,0		10,0							Guerrero, (1995)
Maracuyá	13t/ha	160	15	140	20,0	115,0	10,0	0,6	0,2	0,2	0,2	0,2		Magnitskiy, (2010).
Maracuyá	1 año 1ha	205	17	184	25,0	151,0	14,0	0,8	2,8	0,2		0,3		
VID	20t/ha	170	60	220	30,0		60,0							Guerrero, (1995)
VID	1	7	1	8		5,8	1,0							Melgar, R. Díaz, M. (2008).
Papaya	40t/ha	90	25	130	10,0		15,0							Guerrero, (1995)
Papaya	45t/ha	110	10	104	12,0	40,4	17,0	0,4	0,2	0,1	0,0	0,1		
Papaya	50t/ha	200	100	250	80,0	200,0	181,0							
Melón	1t/ha	4	1	6		3,3	0,7							
Melón	40t/ha	85	37	115										PROMOSTA, (2005)/Melgar, R: Díaz, M. (2008).
Soya	1t/ha	49	5	17	2,8	2,6						0,0		
Soya	4 t/ha	320	12	132	28,0	64,0	36,0	1,2	0,6	0,2	0,1	0,1	0,9	

4. METODOLOGÍA

4.1. LOCALIZACIÓN

El Distrito de Riego y Drenaje RUT se localiza al suroeste de Colombia al norte del departamento del Valle del Cauca cubriendo un área de 12500 ha, 10200 ha cultivables, 1900 predios y 1370 usuarios que cultivan esta zona en su mayoría con caña de azúcar, maíz, guayaba, pasto, uva, frutales, papaya, maracuyá y melón. En la Figura 2 se muestra la localización general del Distrito RUT, este se encuentra comprendido al sur por el municipio de Roldanillo, al occidente por el municipio de La Unión, al norte por el municipio de Toro y limitando en la zona oriental con el sinuoso Rio Cauca. La región se caracteriza por estar en los pisos climáticos tropical y subtropical con temperaturas entre 16 y 35°C, con un valor promedio anual de 24°C, la precipitación es bimodal con dos periodos de lluvia muy definidos entre Marzo-Mayo y entre Septiembre-Noviembre, con un valor promedio de precipitación anual de 1100 mm. La humedad relativa es de 79,9%, evaporación anual de 1800 mm/año, velocidad promedio de viento de 1.30 m/s, y valor de brillo solar de 1936 horas promedio anual (Moreno, 2013).

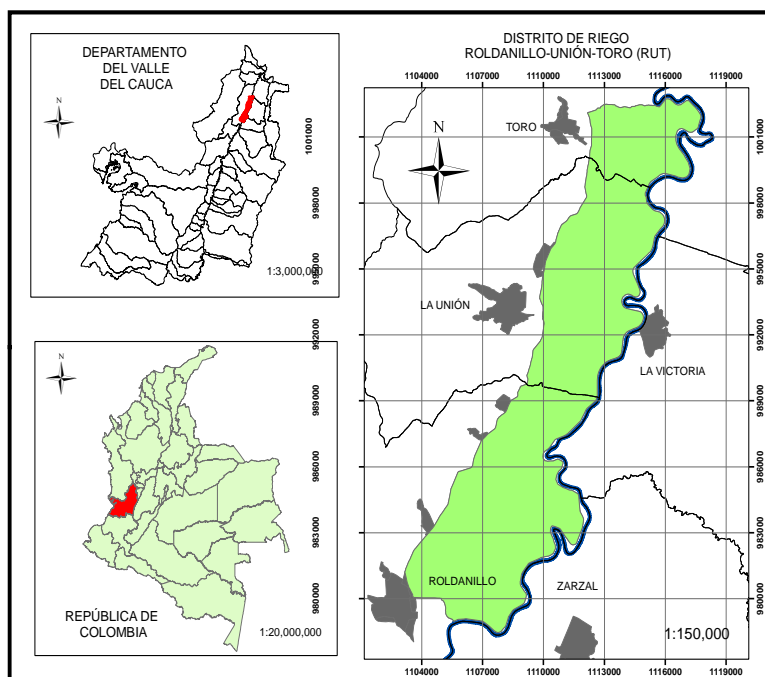


Figura 2. Localización del Distrito RUT.

Fuente: Echeverri, (2014).

4.2. DISEÑO DE MUESTREO

Para la recolección de información se usó el método de muestreo aleatorio estratificado donde se separaron los diferentes agricultores del Distrito RUT de acuerdo al cultivo predominante en el predio, buscando obtener una muestra de las diversas formas de cultivar, debido a los distintos requerimientos nutricionales en cada especie. Para la obtención de la información necesaria para la muestra, fue de gran importancia desarrollar una encuesta personal, de preguntas abiertas, contextuales y descriptivas en la que se almacenó datos significativos sobre las diferentes prácticas agrícolas desarrolladas por la comunidad, en donde se pudo conocer las formas de riego, fertilización, los productos utilizados, las épocas de siembra, el tipo de labranza y otro tipo de información relevante para este estudio.

4.2.1. Muestreo aleatorio estratificado

El muestreo aleatorio estratificado permitió tratar con subpoblaciones, aumentando la eficiencia de las estimaciones, debido a que las características de interés tienden a tomar distintos valores promedio con respecto a subgrupos poblacionales. Si la población tiene comportamiento diferente en estos subgrupos, es posible mejorar la precisión de las estimaciones tomando muestras independientes en cada uno de los subgrupos poblacionales. Este método es muy útil cuando existe mucha variabilidad entre los subgrupos, pero dentro de ellos la variabilidad es constante (Gutiérrez, 2009). Se usó el muestreo estratificado porque existía información auxiliar que permitía la división en subgrupos para luego tomar una muestra representativa de cada uno; gracias a que ASORUT poseía información detallada donde se mostraba los diferentes cultivos y el área ocupada (ver Tabla 7).

Adicionalmente el uso de muestreo aleatorio estratificado fue justificado porque generaba una reducción de la varianza en la estimación, debido a que los estratos son homogéneos por dentro pero heterogéneos entre sí (Anderson et al., 2008). Es decir, los requerimientos nutricionales de cada cultivo son diferentes, por ende, la fertilización que se hace es diferente pero similar en cantidades cuando se habla del mismo cultivo. Se descartó el uso de muestreo aleatorio simple porque podían

excluirse cultivos de importancia económica para la región o generaba mucha precisión en la predicción del comportamiento de la fertilización de algunos cultivos por lo representativo de la muestra, mientras que en otros podría no ser una muestra representativa de un cultivo.

El procedimiento que se siguió para el desarrollo del muestreo fue el siguiente:

- Establecer el atributo que se usó para estratificar, en este caso fue el tipo de cultivo.
- Se definieron cuantas variables de ese atributo se dieron en esa población, entre los cuales se establecieron nueve estratos representados por cultivos de caña de azúcar, maíz, guayaba, pastos, vid, maracuyá, melón, papaya y soya por ser los de mayor relevancia en el Distrito.
- Luego de definir los estratos, se definió el total de la población que pertenecía a cada estrato, empleando cálculos estadísticos se obtuvo el número de encuestas que serían representativas de una población considerando un error de muestreo de 0,1 y una precisión de 90%.

$$n = \frac{\sum_i^l N_i^2 p_i (1 - p_i) / w_i}{N^2 D + \sum_i^l N_i p_i (1 - p_i)} \quad D = \frac{B^2}{4} \quad w_i = \frac{N_i}{N}$$

Donde:

n = numero de encuestas a realizar por cultivo

N_i^2 = numero de predios totales de cultivo especifico

N = numero de predios totales

p_i = proporcion poblacional del estrato

B = nivel de precision

D = error de estimacion maximo

El tamaño de la muestra por estrato se calculó haciendo una asignación proporcional, teniendo en cuenta que el costo por unidad muestreada es el mismo y la varianza en los estratos es mínima.

$$n_h = n \left(\frac{N}{N_i} \right)$$

n_h = tamaño del estrato

n = número de encuestas totales

N = número de predios del distrito

N_i = predios con determinado cultivo

Tabla 7. Muestreo aleatorio estratificado.

Muestreo aleatorio estratificado: Muestreo de fertilización en el Distrito RUT		
Cultivos	Predios Ni	Muestra ni
Total	1496	96
Maíz	481	21
Caña	313	14
Guayaba	197	9
Maracuyá	134	6
Pasto	129	6
Vid	104	5
Papaya	91	4
Melón	40	2
Soya	7	1

4.3. APLICACIÓN DE ENCUESTAS

Para la realización de las encuestas a los diferentes usuarios seleccionados como muestra se dispuso de 8 días, en los cuales se realizó la visita predio por predio para recolectar la información requerida en el formato de encuesta. (El formato de la encuesta se adjunta en el *Anexo I*). La encuesta se dividió en 6 partes, en la primera se ubicó la información de referencia como lo es el nombre del entrevistado, la especie vegetal cultivada distinguiendo la variedad y el área de dicho cultivo; una segunda parte se orientó a identificar el tipo de labranza realizada para el

establecimiento del cultivo y el orden en que se realizaba; la tercera parte se centró en las prácticas culturales seguidas por el agricultor hasta la cosecha teniendo en cuenta las fechas o épocas del año; la cuarta parte se ciñe al criterio con el cual el agricultor escoge el fertilizante, calcula la dosis de fertilizante y el momento de la aplicación, adicional a esto se le consultó el nombre del producto fertilizante, la dosis total aplicada por periodos y el método de aplicación; la quinta parte simplemente recogió la información del método de riego y el criterio con que se riega, refiriéndose a si realiza algún cálculo o medición antes de regar; por último se anotó las observaciones que permitieran organizar la información obtenida como lo es distancia de siembra, densidad de siembra, producción por año, o por cosecha, términos propios y demás.

4.4. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

4.4.1. Estadística descriptiva

En esta parte del estudio se desarrolló un procedimiento por el cual se clasificó la información según las prácticas y criterios de fertilización, ya que en el Distrito convergen gran variedad de cultivos que se distribuyen en toda su extensión. Era de gran importancia para el desarrollo de este proyecto, identificar las prácticas y los criterios de fertilización para cada cultivo, en especial de los principales propuestos por el estudio.

Para este fin se desarrolló una hoja de cálculo en la cual se clasificó la información que los usuarios proporcionaron respecto a prácticas culturales que realizaban en los cultivos, criterios de fertilización y riego, productos y dosis de fertilización, tipo de cultivo, etc. posteriormente se generaron graficas de pastel y barras para evidenciar los porcentajes de cada práctica desarrollada y analizar las tendencias de cada cultivo.

4.4.2. Determinación del índice de salinidad (IS)

Para determinar el índice de salinidad de cada fertilizante se usó los valores descritos por Balba (1995) y Rader (1943) donde se indica el índice de salinidad para 33 fuentes de fertilizante, posteriormente se usó el método descrito por

Mortvedt (2001) para obtener el índice de salinidad de las mezclas faltantes, donde se establece el índice de salinidad de un fertilizante mixto como la suma de índice de salinidad de cada componente por unidad de nutrientes por el número de unidades en ese componente, es decir, se tomó la composición de cada fertilizante y se sumó de forma ponderada cada índice de salinidad de la mezcla de acuerdo a su peso en la fórmula, con esto se obtuvo el valor aproximado del índice de salinidad de la mezcla comercial aplicada al cultivo. Finalmente se pondera estos resultados para obtener un indicador en cada predio.

4.4.3. Obtención de un índice de vulnerabilidad a la salinización por fertilización (IVFS)

El análisis multicriterio sirve como instrumento metodológico para comprender la complejidad e incertidumbre de una situación o decisión donde hay variedad de actores e intereses mediante la comparación de distintas valoraciones. Permite describir, evaluar, ordenar, jerarquizar, seleccionar o rechazar las opciones, con base en una evaluación (expresada por puntuaciones) de acuerdo con varios criterios, usando múltiples pautas para calificar las opciones de tipo productivo, cultural, técnico, climatológico y social. La evaluación multicriterio toma en cuenta el carácter cualitativo y/o cuantitativo de los indicadores bajo estudio, combinando aspectos formales con aspectos informales en el análisis.

El proceso de análisis jerárquico o Analytic Hierarchy Process (AHP) de Thomas Saaty (1980) fue usado para valorar 4 factores con información que combina lo cuantitativo con lo cualitativo, de modo que expertos en el tema calificaron cada factor dando mayor peso a los parámetros más importantes según su criterio. Los 4 factores escogidos fueron: Criterio de aplicación, método de aplicación, índice de salinidad y fraccionamiento de las dosis.

➤ Definición de factores, categorización y normalización

En la Tabla 8 se puede ver la definición, categorización y normalización de los 4 factores. Estos diferentes parámetros fueron de gran importancia pues en ellos se

basa la determinación de la creciente vulnerabilidad a la salinización de los suelos por el uso inadecuado de fertilizantes.

Tabla 8. Definición de factores, categorización y normalización.

Parámetro	Calificación	Categoría	Valor Normalizado	Observaciones
Índice de Salinidad	Muy bajo	0 - 31	0,20	El índice de salinidad (IS) es una cifra indicativa del grado en el cual una cantidad dada de producto incrementa la presión osmótica de la solución del suelo (Guerrero, 2004).
	Bajo	> 31 - 62	0,40	
	Medio	> 62 - 93	0,60	
	Alto	> 93 - 124	0,80	
	Muy Alto	> 124	1,00	
Método de aplicación		Fertirrigación		El método de aplicación de un fertilizante es la manera en la cual se distribuye una cantidad de producto fertilizante para la nutrición del suelo.
	Eficiente	Fertirrigación manual	0,33	
	Medio	Chorrillo	0,66	
	Poco Eficiente	Voleo, Corona	1,00	
Fraccto.	Optimo	> 8	0,25	El fraccionamiento es la cantidad de veces en la cual se divide la dosis de fertilizante a aplicar en un periodo determinado.
	Bueno	> 4 - 8	0,50	
	Regular	> 2 - 4	0,75	
	Deficiente	≤ 2	1,00	
Criterio de aplicación	Muy conveniente	Diagnostico suelo	0,33	El criterio de aplicación hace referencia a la base técnica por la cual el agricultor determino la dosis, método, fraccionamiento y demás tareas a realizar en el cultivo.
	Conveniente	Recomendación	0,66	
	Inconveniente	Cultural	1,00	

➤ **Asignación de pesos o grados de prioridad**

En la Tabla 9 se puede ver la matriz con la cual se estableció la relación entre parámetros. Siguiendo el procedimiento establecido por Saaty, (1980) se diseñó la asignación de pesos para los parámetros a evaluar por 5 expertos.

Tabla 9. Matriz de calificación de relación entre parámetros y valores inversos.

	Índice de salinidad	Método de aplicación	Fraccionamiento	Criterio de aplicación
Índice de salinidad	1			
Método de aplicación		1		
Fraccionamiento			1	
Criterio de aplicación				1
Σc=	x	x	x	x

Posteriormente se calculó la consistencia de los juicios siguiendo la metodología descrita por Saaty (1980) usando el índice de consistencia (IC) y el índice de consistencia aleatoria (IA) para obtener la razón de consistencia (Rc).

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

Teniendo en cuenta que, si $RC = 0$, la matriz es consistente, pero si $RC \leq 0,10$ la matriz tiene una inconsistencia admisible y el vector de pesos obtenidos se admite como válido por el contrario si $RC > 0,10$, la inconsistencia es inadmisible y se aconseja revisar los juicios.

➤ **Generación de mapas por factor**

Se realizó con el software ArcGIS 10.3.1 mapas de zonificación de cada factor; es decir, índice de salinidad, criterio de aplicación, fraccionamiento y método de aplicación; asignando a cada polígono del mapa de cobertura del suelo el valor normalizado correspondiente a cada parámetro (ver la Tabla 2). El mapa de cobertura del suelo es de la cartografía oficial de la CVC, fue desarrollado en 2008

siendo todavía el plano más actual de esa variable, la realización de los mapas se hizo en Magna Colombia Oeste como proyección de trabajo.

➤ **Cálculo del IVSF (Índice de Vulnerabilidad a la Salinización por Fertilización)**

El IVSF es un indicador que representa el estado de vulnerabilidad en el que se encuentra el suelo en el Distrito RUT por las practicas culturas en determinado cultivo, que puede ser vulnerabilidad alta con un valor del indicador entre 0,66 y 1, vulnerabilidad media si el valor se encuentra entre 0,66 y 0,33 y vulnerabilidad baja si el indicador se encuentra entre 0,33 y 0. El valor del IVSF se obtiene calculando la sumatoria de los 4 factores por su valor normalizado de su respectiva categoría.

$$IVSF = \sum_{i=1}^n P_i * N_i$$

Donde:

IVSF = Indice de vulnerabilidad a la salinizacion por fertilizacion.

P = Pesos asignados por factor.

N = Valor normalizado por factor.

Para la realización de esta parte se utilizó el software ArcGis 10.3.1 con la herramienta “Raster Calculator” de la extensión “Spatial Analyst”.

4.4.4. Análisis de correspondencia espacial

Este estudio buscó hacer una comparación entre otros factores o variables que podrían estar interactuando directa o indirectamente con el factor de estudio de este proyecto y de esta manera establecer la relación que existe entre factores, presentándose desde diversos puntos de vista. Esta correspondencia espacial se hizo con estudios relacionados con la calidad de agua de los afluentes y canales del Distrito y conductividad eléctrica del suelo.

Para llevar a cabo esta comparación espacial se dispuso de un mapa de amenaza por calidad de agua realizado por Saavedra y Angulo, (2014) en donde se presenta la amenaza de salinización por la calidad del agua, un mapa de conductividad

eléctrica de los suelos (CEs) realizado por Echeverri, (2015) en donde se ve el estado de salinización de los suelos del Distrito.

En la Figura 3 se presenta un diagrama de procesos que resumen las fases metodológicas llevadas a cabo.

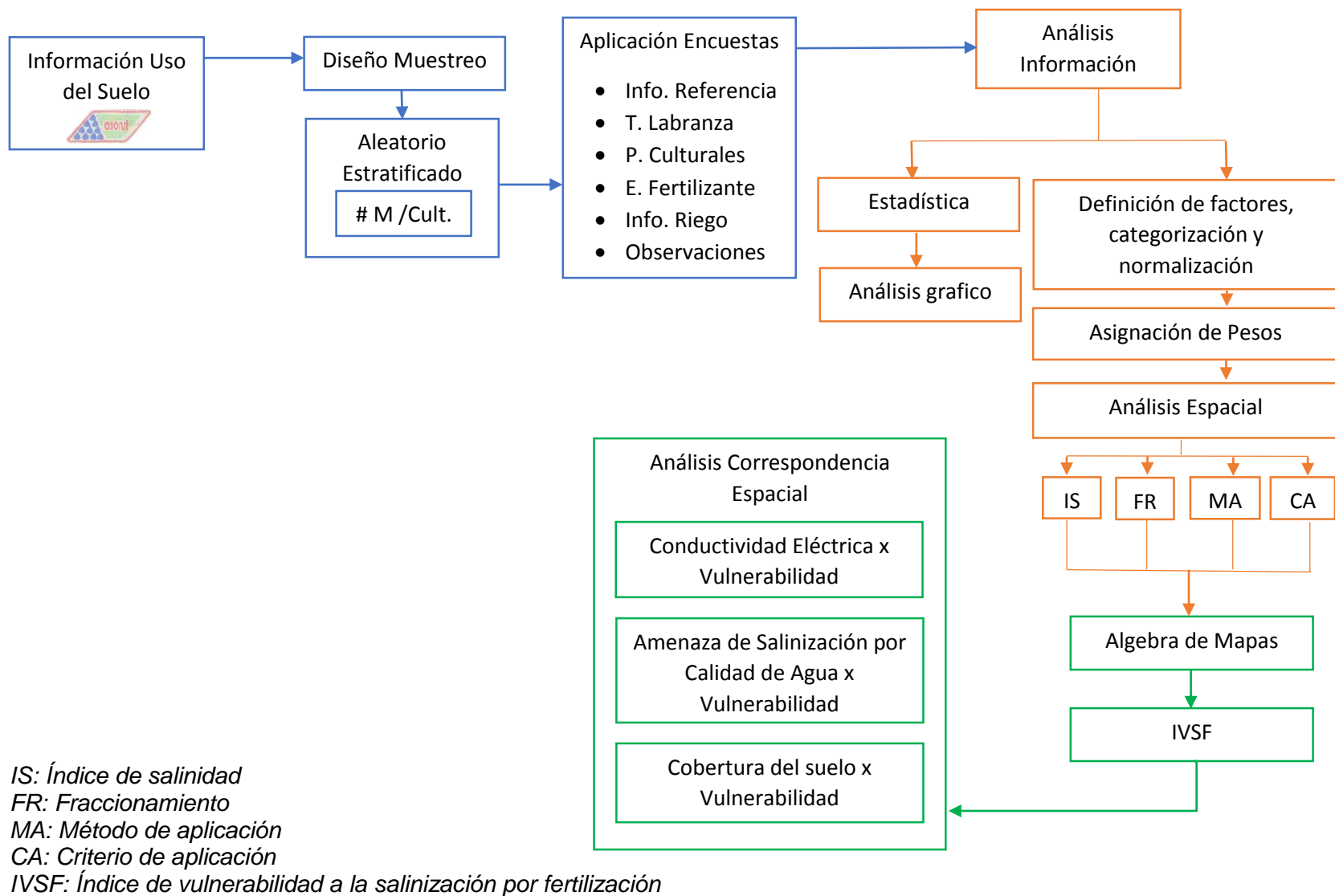


Figura 3. Fases metodológicas.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS PRÁCTICAS CULTURALES

5.1.1. Criterio de aplicación

En la Figura 4 se tiene la relación porcentual del criterio de aplicación de fertilizantes en los cultivos prevalentes de la zona de estudio. Según esta figura en los cultivos de uva, papaya, melón y soya, por lo general se hace un diagnóstico de suelo para determinar la dosis de fertilizantes que se deben aplicar. Por otra parte la Figura 4 dice también que en los cultivos de maíz, guayaba, pasto y maracuyá la dosificación para la aplicación de los productos fertilizantes se hace de manera cultural o por alguna recomendación, ya sea de la tienda agrícola o de un ingeniero agrónomo. Es importante resaltar que el sector cañero, que es el más representativo en términos de área, se realiza diagnóstico pero existen zonas que no se tiene un criterio técnico por lo tanto se tiene un criterio que va desde muy conveniente a inconveniente.

5.1.2. Método de aplicación

La eficiencia de aplicación de un fertilizante depende del método usado para aplicarlo a la planta. Según la Figura 5 en los cultivos de caña de azúcar, maíz, pasto y soya predomina el chorrillo con tractor en las primeras etapas del cultivo y voleo en las etapas posteriores cuando no es posible ingresar al campo con el tractor, por lo tanto se puede decir que se desperdicia producto fertilizante en etapas avanzadas del cultivo. En el pasto es superior el uso de voleo con algunas zonas donde se hace por chorrillo. En los cultivos de guayaba, uva, papaya y maracuyá se tiene un buen porcentaje de aplicación por medio de corona alrededor de la planta. En cuanto a la fertirrigación en los cultivos de melón esta práctica se realiza en un 100% y en menor medida en otros cultivos de maracuyá, papaya y mínimamente uva.

5.1.3. Índice de salinidad (IS)

En la Figura 6 se encuentra representada las diferencias de índice de salinidad en cada uno de los cultivos prevalentes del Distrito, en esta figura se puede ver que en

los cultivos de guayaba, pasto, vid, papaya, maracuyá, y melón existe un índice de salinidad que se encuentra entre 62 y 93 que según la Tabla 8 le da una calificación de IS medio. Los cultivos que tienen una calificación alta son caña de azúcar y maíz los cuales presentan un valor de IS mayor de 93 es importante decir que estos dos cultivos representan más del 70% del área total del Distrito. También cabe resaltar que no existieron valores de IS ni muy altos (>124) ni muy bajos (0-31).

5.1.4. Fraccionamiento de aplicación

En la Figura 7 Se hace referencia al fraccionamiento de la dosis de fertilizantes, en ella se puede ver que en los cultivos como papaya, maracuyá y melón este fraccionamiento se hace de una manera óptima con valores por encima de 14 aplicaciones, lo cual es excelente para el cultivo puesto que administrar la dosis en pequeñas cantidades posibilita a la planta la obtención de nutrientes necesarios para su desarrollo, disminuyendo las pérdidas de fertilizante y favoreciendo la retención de producto en el suelo. En los cultivos caña de azúcar, maíz, pasto y soya el número de aplicaciones de la dosis es mínimo y se considera deficiente pues se facilita las pérdidas de producto aplicando grandes cantidades una o dos veces en el periodo del cultivo, esto se debe a que son cultivos por lo general de gran extensión a los cuales es difícil y costoso ingresar con maquinaria en etapas posteriores del cultivo para aplicar fertilizante. Para los cultivos de guayaba y uva se hace un fraccionamiento entre 4 y 8 aplicaciones lo cual es aceptable pues reduce las pérdidas y facilita la retención de nutrientes.

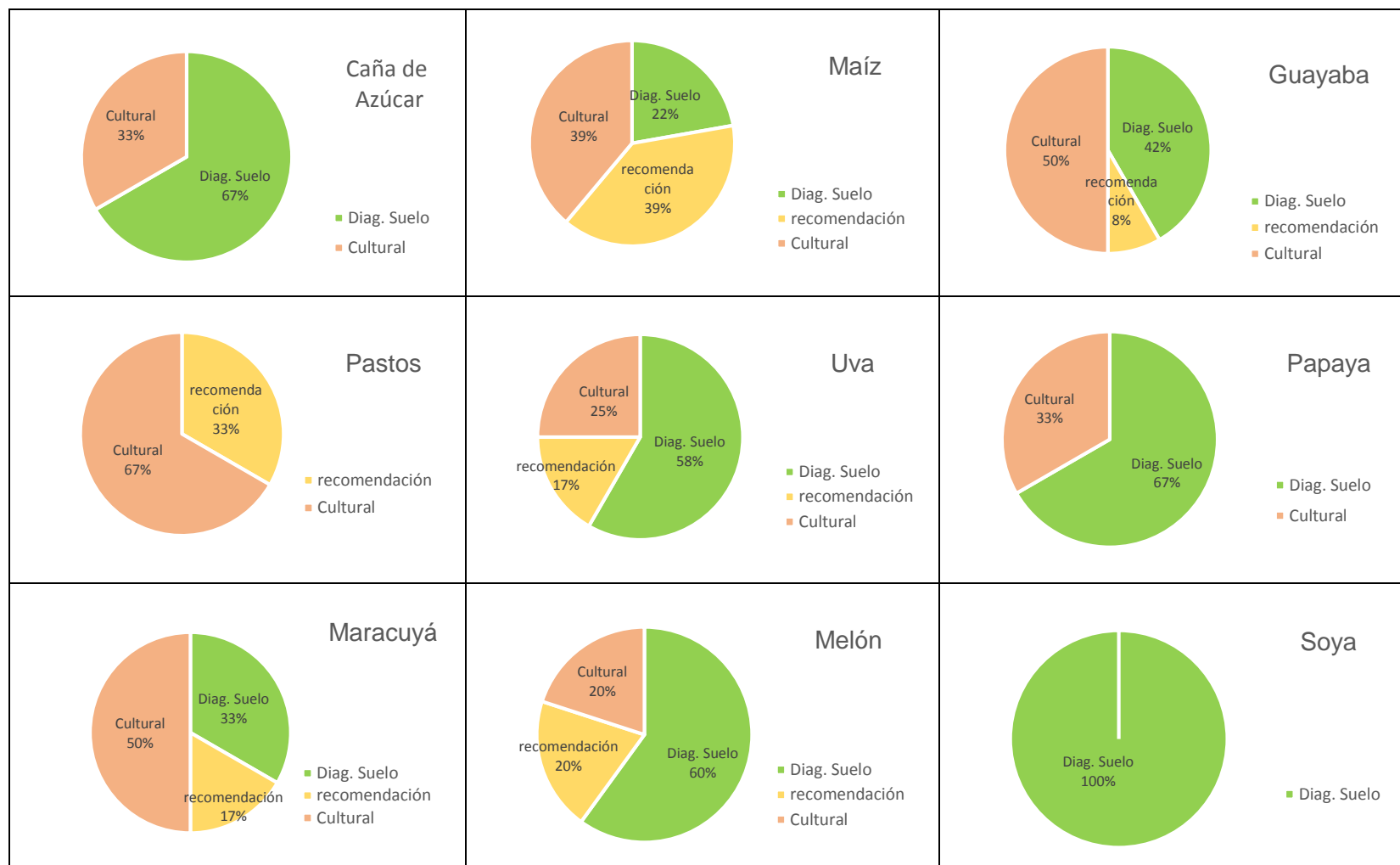


Figura 4. Criterio de aplicación de fertilizantes en los cultivos prevalentes del Distrito RUT.

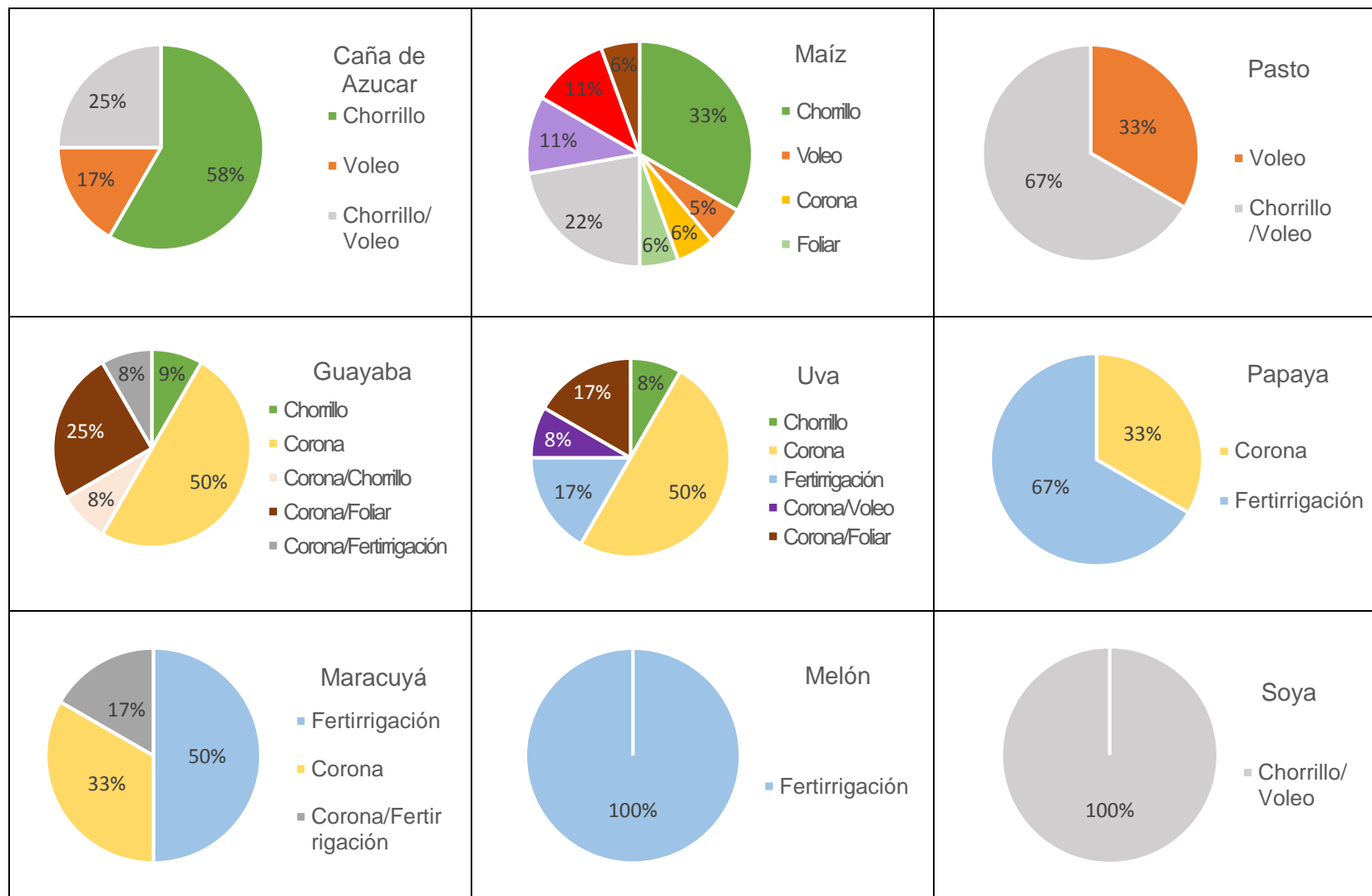


Figura 5. Métodos de aplicación de fertilizantes en los cultivos prevalentes del Distrito RUT.

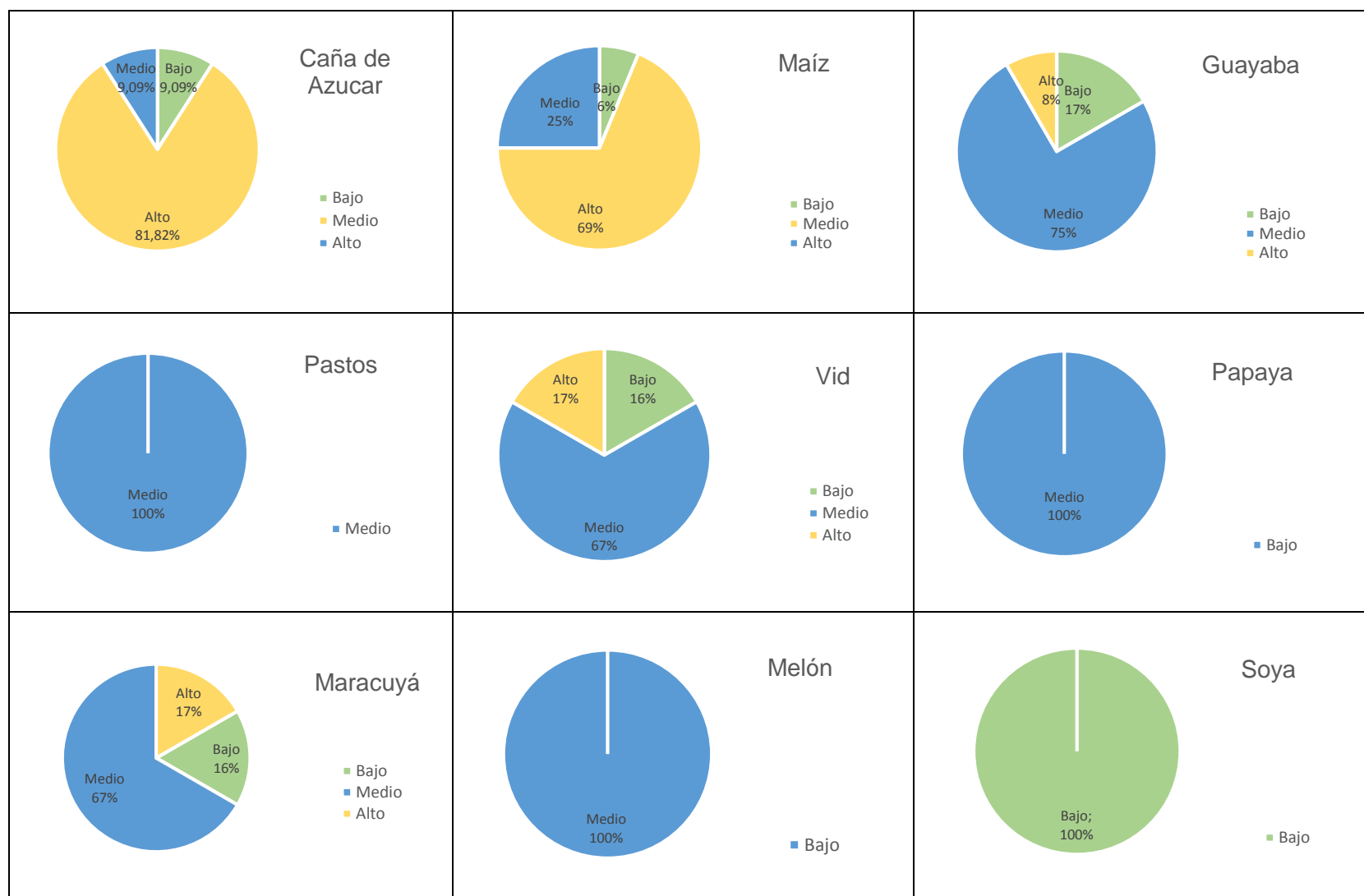


Figura 6. Índice de Salinidad de los fertilizantes aplicados en los cultivos prevalentes del Distrito RUT.

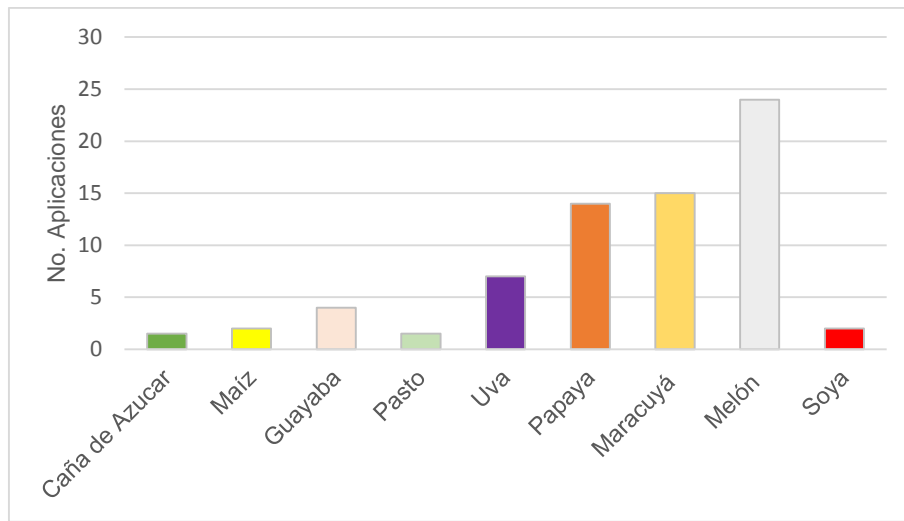


Figura 7. Fraccionamiento de las dosis de fertilizantes en los cultivos prevalentes en el Distrito RUT.

5.1.5. Criterio de riego

El criterio óptimo para determinar la frecuencia de riego de un cultivo en particular se debe realizar por medio de un balance hídrico en el cual se determina las necesidades hídricas del cultivo, la precipitación y la retención de humedad del suelo. En la Figura 8 se puede ver que el criterio que predomina en los cultivos prevalentes del Distrito es el cultural por el cual los agricultores determinan la frecuencia de riego por medio de un análisis visual y conocimiento empírico lo cual genera ineficiencia y desperdicio del recurso hídrico.

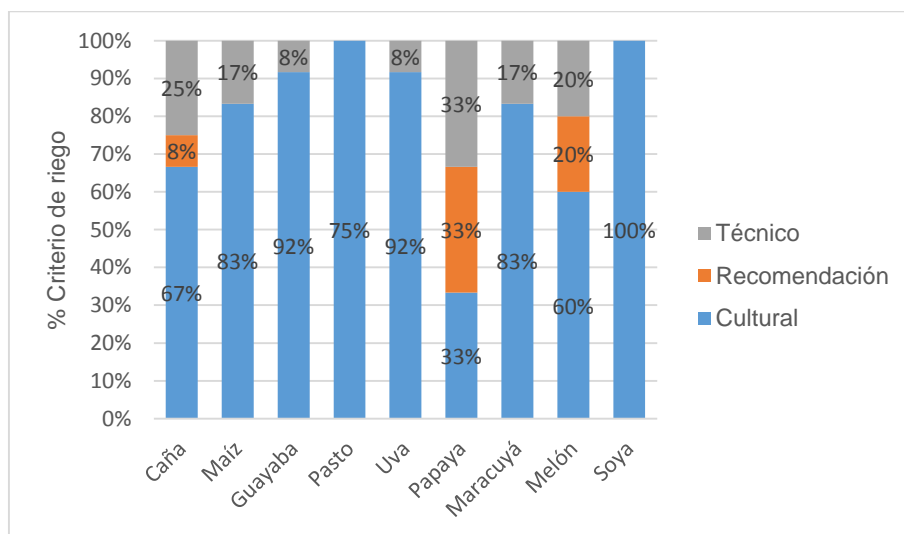


Figura 8. Criterio de riego de los cultivos prevalentes del Distrito RUT.

5.1.6. Método de riego

En la Figura 9 en los cultivos de maíz y de soya se utiliza 100% la aspersión como método de riego. Los cultivos de papaya y melón por lo contrario usan goteo para distribuir el recurso hídrico lo cual es adecuado puesto que también se usa como medio para aplicar el fertilizante al cultivo, siendo más eficiente en el uso de agua. El cultivo de la caña de azúcar, guayaba y maracuyá presentan un porcentaje mayor de riego superficial el cual es menos eficiente pues se desperdicia una cantidad alta de agua, sumado a esto un criterio de riego cultural acrecentando el deterioro de los cultivos.

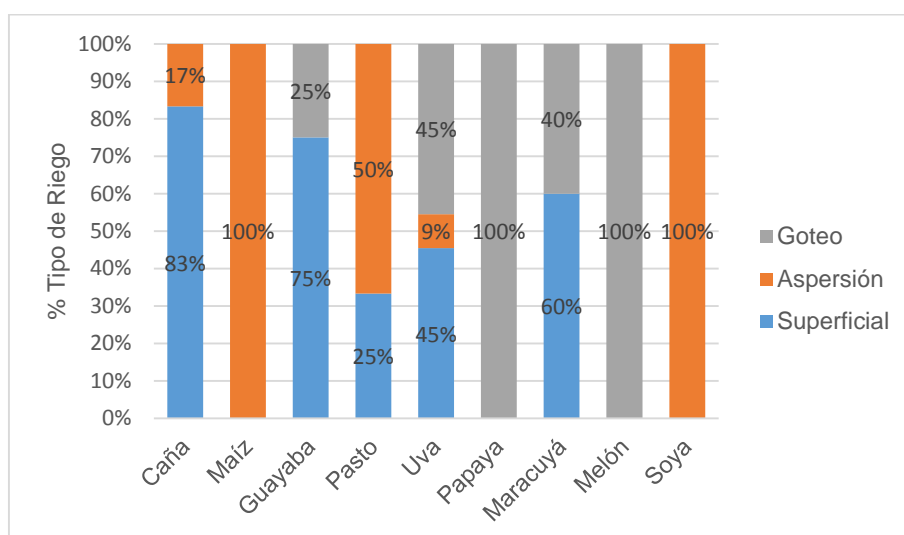


Figura 9. Método de riego para los cultivos prevalentes del Distrito RUT.

5.2. MAPAS POR FACTOR DE VULNERABILIDAD

5.2.1. Criterio de aplicación

La clasificación de criterio de aplicación de fertilizantes se divide en tres categorías, cultural, recomendación y diagnóstico de suelo, en la Figura 10 se puede ver el análisis espacial se encontró que el 40,3% del área del Distrito presenta un criterio de fertilización inconveniente para la sustentabilidad del suelo, seguido de un 47,1% que representa un criterio de fertilización conveniente que obedece a los requerimientos promedios del cultivo sugeridos por personal técnico agrónomo o

proveedor de semillas, un pequeño porcentaje del 1,6% con cultivos que cultivados de una manera muy conveniente y el 11% restante no fue objeto de estudio.

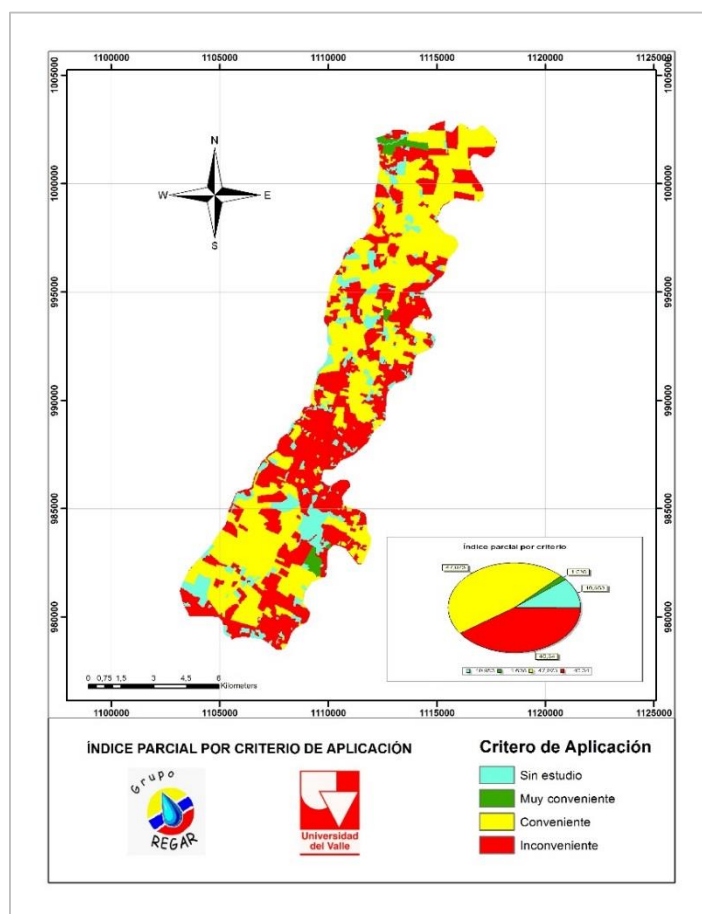


Figura 10. Mapa de criterio de aplicación de los fertilizantes.

Los cultivos donde se realiza la fertilización de acuerdo a un análisis de suelos son caña de azúcar, melón, papaya, vid y soya, pero si se analiza cada estrato de forma global, no se evidencia diferencia significativa entre quienes realizan diagnóstico de suelo-planta y quienes lo hacen de acuerdo a sus conocimientos empíricos o por recomendación sin diagnóstico de suelo. En segundo lugar se encontró que los cultivadores de guayaba y maracuyá se dividen entre quienes poseen un diagnóstico de suelo y quienes lo hacen de forma cultural viéndose mayormente representados por quienes fertilizan de acuerdo a sus conocimientos empíricos, finalmente cultivos como el maíz, pasto y algunos de caña de azúcar realizan la fertilización en su mayoría de forma cultural.

5.2.2. Método de aplicación

El método de aplicación del fertilizante se refiere a 6 formas diferentes, las cuales fueron según su eficiencia; fertirrigación, fertirrigación manual (aguatero), chorrillo, foliar, voleo y corona. En la Figura 11 se observa como el método de aplicaciones en general es poco eficiente alcanzando un 81,4% (8972,7ha) del área del total Distrito RUT con aplicación en corona y voleo, seguido de un 6,2% (663ha) de pequeñas zonas de aplicación eficiente, para la clasificación de método de aplicación muy eficiente existe solo 1,5% (165,3ha) y un 11% restante, que no fue evaluado correspondiente a zonas urbanas, cuerpos de agua, bosques, cultivos menores, entre otros.

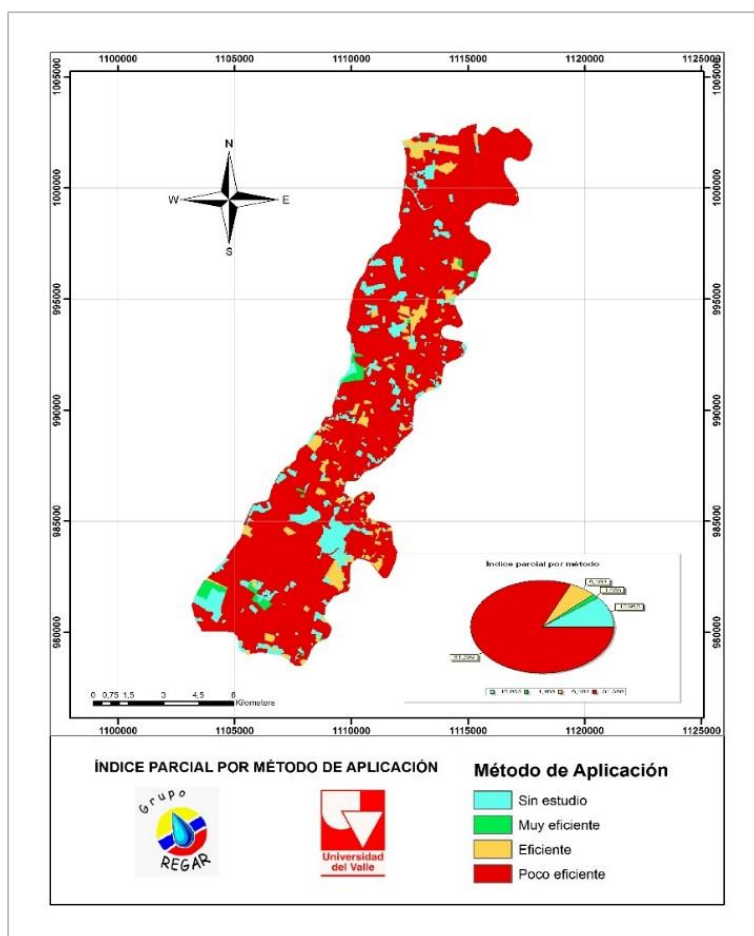


Figura 11. Mapa del método de aplicación de fertilizantes.

Cabe resaltar que cultivos como melón, maracuyá y papaya son fertilizados en su mayoría por fertirrigación siendo este método considerado muy eficiente (ver Tabla 8). Cultivos como caña de azúcar, maíz y soya se consideran eficientes y prevalece la aplicación en chorrillo incorporado con maquinaria, lo cual cambia en etapas posteriores del cultivo a aplicación foliar y voleo por el crecimiento del mismo que imposibilita el ingreso de maquinaria al cultivo.

5.2.3. Índice de salinidad

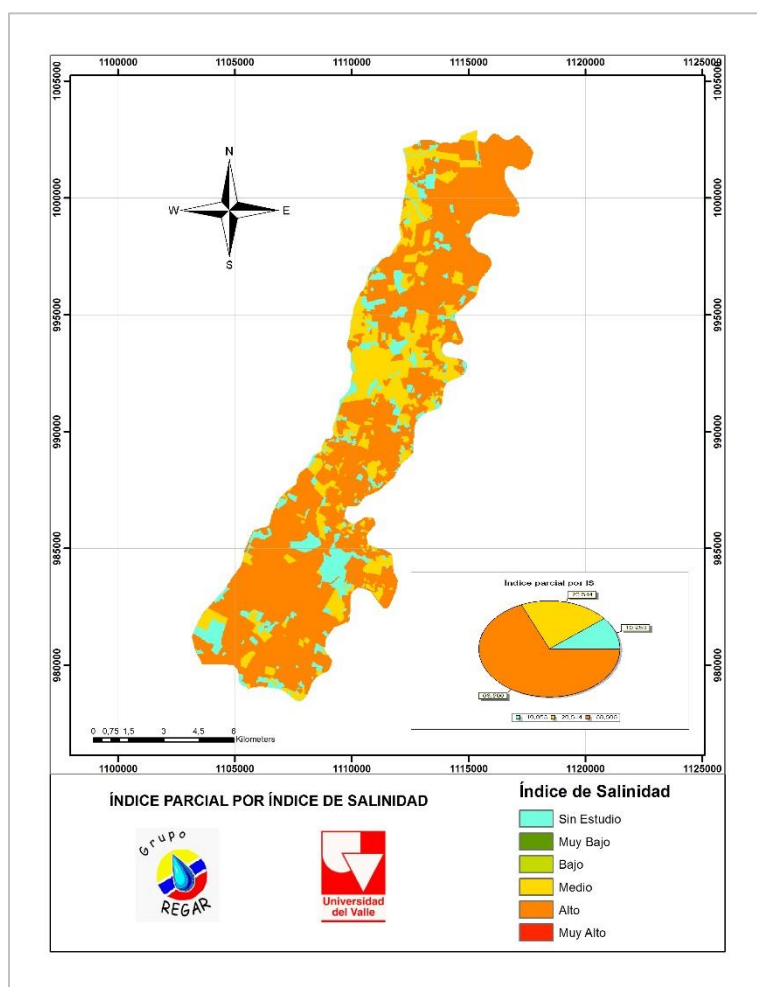


Figura 12. Mapa del índice de salinidad por fertilizantes.

Luego del análisis espacial en la Figura 12 se muestra como el Distrito se divide en un grupo mayoritario que aplica mezclas de fertilizantes con índice de salinidad alto,

ocupando un 68,5% (7550,7ha) del área total, luego se evidencia pequeñas zonas equivalentes al 20,5% (2259,7) donde las mezclas de fertilizantes aplicados tienen un índice de salinidad medio. Para las demás categorías de IS que se evaluaron (IS muy bajo y muy alto), el estudio no arrojó resultados puesto que no se encontró los valores de IS en los cultivos prevalentes del Distrito. Además un 11% de terreno total del RUT pertenece a zona urbana, bosques, cultivos menores y cuerpos de agua. La fuente de la información contenida en el mapa de índice de salinidad se puede ver en el *Anexo II*.

5.2.4. Fraccionamiento de aplicación

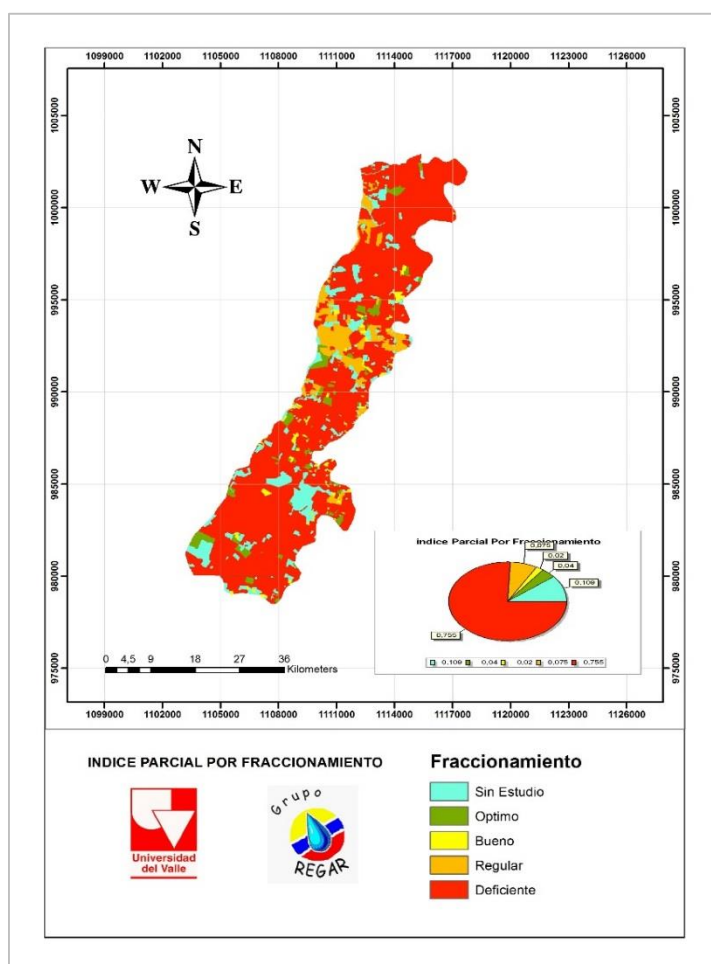


Figura 13. Mapa del fraccionamiento de las dosis de fertilizante.

Los fraccionamientos encontrados para los cultivos de estudio van desde una aplicación por año hasta tres aplicaciones por semana, dando como resultado entre cero aplicaciones por año en casos esporádicos como en pastos, hasta 18 aplicaciones por periodo en cultivos como el melón. Según la Figura 13 los cultivos donde se hace un óptimo fraccionamiento son maracuyá, melón y papaya, ocupando solo un 4% (440,9ha) del área, seguido de vid y guayaba donde el fraccionamiento se clasificó como bueno (2%; 220,4ha) y regular (7,5%; 826,7ha) respetivamente, por último se evidencia que el 75,5% (8322,3ha) del área presenta un fraccionamiento deficiente en la fertilización ocasionando pérdidas por lixiviación y un aprovechamiento menor para la planta. Este caso es representativo de cultivos como caña y maíz donde el mayor fraccionamiento se alcanza con 2 aplicaciones edáficas y una aplicación foliar.

5.3. EVALUACIÓN MULTICRITERIO

5.3.1. Pesos o grados de prioridad

El índice de salinidad, criterio de fertilización, método de fertilización y fraccionamiento son los parámetros que inciden principalmente en la vulnerabilidad de salinización por uso de fertilizantes. Estos parámetros fueron representados espacialmente realizando mapas de la zona de estudio para finalmente producir un plano de vulnerabilidad de salinización por fertilizantes, para el desarrollo de dicho mapa era necesario asignar pesos o grados de prioridad a los cuatro parámetros. La asignación de pesos a los cuatro parámetros se realizó haciendo la consulta a expertos, en el caso de este trabajo fueron 5 evaluadores que conocían del tema dieron valores de prioridad a los parámetros que según su criterio deberían ser del mas incidente al menos incidente. Según la Tabla 10 el parámetro más incidente es el índice de salinidad seguido del criterio de fertilización y menos incidentes el método y el fraccionamiento.

Tabla 10. Consulta expertos.

PARÁMETRO	Eval. 1	Eval. 2	Eval. 3	Eval. 4	Eval. 5	Promedio
Índice salinidad	0,531	0,567	0,37	0,051	0,579	0,420
Criterio fertilización	0,227	0,243	0,453	0,594	0,102	0,324
Método fertilización	0,133	0,095	0,08	0,196	0,283	0,157
Fraccionamiento	0,109	0,095	0,097	0,159	0,036	0,099
Razón consistencia	6,4%	4,7%	2,2%	7,1%	9,4%	6,0%
PEV	4,175	4,129	4,061	4,212	4,255	4,166

5.3.2. Obtención del IVSF

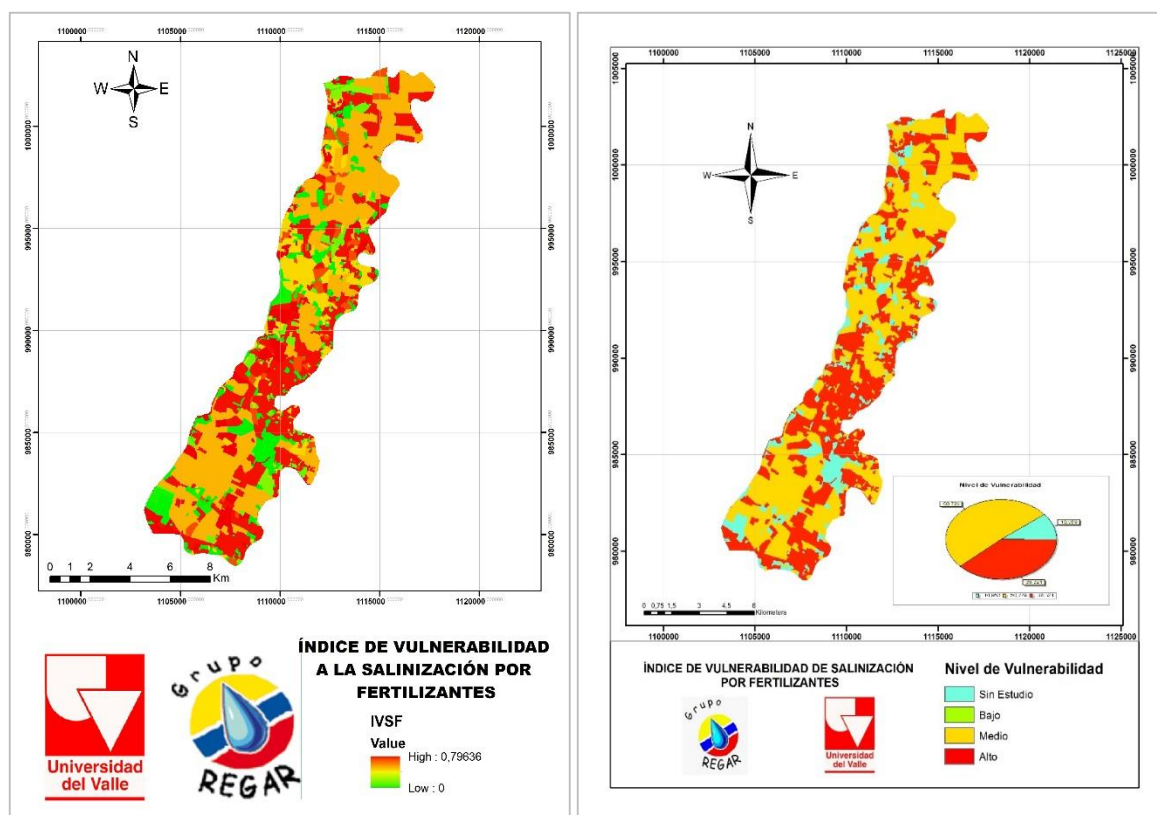


Figura 14. Nivel de vulnerabilidad de salinización por fertilizantes.

En la Figura 14 se presenta la clasificación que tiene el Distrito RUT en cuanto al índice de vulnerabilidad de salinización por fertilizantes, en esta figura se puede ver que las zonas de coloración roja son regiones que presentan una alta vulnerabilidad siendo 38,32% (3569,2ha) del área total del Distrito, las zonas de coloración amarilla

son regiones que presentan una mediana vulnerabilidad representando un 50,73% (5591,9ha) y las zonas que presentan coloración verde claro son regiones que no se evaluaron en las cuales se encuentran otros cultivos de menor extensión. Las zonas que se evaluaron hacen referencia a más del 89% del área total del Distrito RUT, lo cual indica que en la mayoría del Distrito existe un mediano y alto nivel de vulnerabilidad de salinización por el uso inadecuado de fertilizantes.

5.4. CORRELACIONES ESPACIALES

5.4.1. Conductividad eléctrica del suelo (CEs) v/s Vulnerabilidad

Tabla 11. Correlación entre Vulnerabilidad por fertilizantes y Conductividad eléctrica.

INDICADOR	CE (0-1 dS/m)	CE (1-2 dS/m)	CE (2-4 dS/m)	CE (4-6,5 dS/m)
Vulnerabilidad Media	14,33%	40,94%	1,05%	0,03%
Vulnerabilidad Alta	19,05%	22,45%	1,01%	0,06%

El mapa de CEs presenta intervalos de valores entre 0 – 6,5 dS/m que fueron los valores de conductividad eléctrica encontrados en el Distrito, mapa que se realizó en el proyecto doctoral de Echeverri, (2015). En la Tabla 11 se puede notar el porcentaje de área del Distrito RUT donde la Vulnerabilidad y la Conductividad eléctrica del suelo se cruzan, dando una idea geográfica de que zonas son las se encuentran mucho más vulnerables y propensas a la salinización de los suelos. Según esta tabla el 0,06% (5,76ha) representan un riesgo alto y sería la zona que requiere de actividades inmediatas para mitigar el impacto a la salinización del suelo, otro subgrupo se encuentra con un riesgo medio y representa 2,09% (206,73ha) del área total del Distrito. Los dos subgrupos que representan un riesgo bajo y muy bajo son la zona de mayor extensión con un 82,44% y 14,33% respectivamente, para estas regiones se debería desarrollar una serie de

actividades que hagan énfasis en la prevención al impacto de salinización de los suelos para disminuir el foco del riesgo.

5.4.2. Amenaza por calidad de agua v/s Vulnerabilidad

En la Tabla 12 se puede ver la correlación que existe entre la Vulnerabilidad y la Amenaza por calidad de agua, donde el 11,82% (1302,92ha) es la zona más propensa a procesos de salinización donde la calidad el agua presenta una amenaza media y una vulnerabilidad alta. El 50,18% (5531,34ha) del área total del Distrito presenta riesgo medio a procesos de salinización por la interacción de estos dos factores, pero es importante resaltar que se trata de una extensión de terreno importante convirtiéndose en una región a la cual se le debe realizar una gestión para la prevención del riesgo a procesos de salinización. El 27,05% (2981,72) es la zona más alejada a ser afectada por efectos de la salinización puesto que es la región con menores valores de amenaza por calidad de agua y vulnerabilidad por fertilizantes.

Tabla 12. Correlación entre Vulnerabilidad por Fertilizantes y Amenaza por calidad de agua.

INDICADOR	Amenaza por Calidad de Agua	
	Baja	Alta
Vulnerabilidad Media	27,05	23,68
Vulnerabilidad Alta	26,50	11,82

5.4.3. Cobertura del suelo v/s Vulnerabilidad

Luego de evaluar el índice de vulnerabilidad en los nueve cultivos se encontró que para el pasto, papaya, melón y soya el índice indica una “vulnerabilidad media”, evidenciando que para estos cultivos se está haciendo un manejo sin tener en cuenta en la conservación del suelo, estos son cultivos que por sus prácticas

culturales deterioran en menor grado el suelo causando un riesgo que se evidencia pero es más bajo que en los otros cultivos.

Los cultivos de caña de azúcar, maíz, guayaba, maracuyá y vid presentaron un índice de vulnerabilidad a la salinización por fertilizante clasificado como “alto”, por tanto se debe prestar especial cuidado a la manera en que se realizan las prácticas culturales puesto que son zonas que son más propensas a agravar su problemática.

6. CONCLUSIONES

El análisis de la información recolectada en la encuesta a los usuarios del Distrito RUT permitió identificar las prácticas de fertilización, clasificando en cada cultivo el criterio y método de fertilización, fraccionamiento de dosis, criterio y método de riego, las cuales reflejaron que la mayoría de agricultores realizan las prácticas culturales de una manera poco adecuada, priorizando el criterio económico por encima del criterio técnico o realizándolas prácticas de manera empírica.

El análisis espacial de los cuatro factores normalizados fue una herramienta que permitió categorizar las prácticas de fertilización obteniendo un índice que representa las zonas donde los cultivos prevalentes del Distrito RUT presentan vulnerabilidad de salinización por el uso de fertilizantes. Este índice arrojó resultados concretos donde se puede ver que más del 38% (3569,2ha) del área total del Distrito RUT presentan como mínimo vulnerabilidad media y un 50% (5591,9ha) del área total del Distrito RUT presenta vulnerabilidad alta gracias a las prácticas de fertilización. Estos valores indican que más del 89% de suelo cultivable del Distrito RUT tiene tendencia a procesos de salinización por efecto del uso inadecuado de fertilizantes y desarrollo inapropiado de las prácticas culturales.

El índice de vulnerabilidad de salinización por el uso de fertilizantes permitió hacer correlaciones espaciales que determinaron el riesgo que representa algunas zonas del Distrito RUT donde estos valores de correlación se hacen altos. Se determinó que no hay una relación manifiesta entre las prácticas de fertilización y los factores tanto de la Amenaza por Calidad de Agua como por la Conductividad Eléctrica del suelo, más bien se puede inferir que es una relación potencial, en la que las zonas de Riesgo Mediano pueden llegar a incrementar sin las actividades de prevención adecuadas.

7. RECOMENDACIONES

Basado en el estudio realizado se evidenció la necesidad de corregir el criterio de selección del fertilizante, en ocho de los nueve cultivos se fertiliza aún sin un estudio de suelo, tomando el riesgo de aplicar más del fertilizante requerido al no conocer las cantidades contenidas en el suelo o por el contrario se corre el riesgo de aplicar menos del necesario y tener una producción menor a la esperada, por tanto se recomienda realizar estudio de suelo antes de la siembra para los cultivos periódicos y para cultivos permanentes como vid, caña de azúcar y guayaba se recomienda hacer un diagnóstico del suelo y foliar cada dos cosechas.

En cultivos de maíz y soya que el fertilizante se aplica muy cercano a la semilla se recomienda fraccionar la dosis de fertilizantes en mayor número para permitir un mejor aprovechamiento de los nutrientes por parte de la planta.

En cultivos como el maíz y la caña de azúcar donde la aplicación mecanizada se dificulta con el crecimiento del cultivo se recomienda completar el requerimiento del cultivo con fertilizantes foliares.

Existe la necesidad de hacer más eficiente el uso del recurso hídrico, por tanto se recomienda mejorar el criterio para calcular la frecuencia de riego. En el cultivo de papaya solo el 35% de agricultores hace uso del balance hídrico para determinar su frecuencia de riego siendo este cultivo el de valores más altos, seguido de melón y caña de azúcar con 20% y 8% respectivamente.

Por último y no menos importante se recomienda hacer una futura investigación que profundice en el tema, permitiendo conocer el índice de salinidad de los fertilizantes más usados, especialmente en granos o cultivos de corta duración. Adicional a esto, un seguimiento continuo de Conductividad eléctrica del suelo en las áreas de vulnerabilidad alta determinadas en el estudio.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, JA; Faz, A; Jansen, B; Kalbitz, K; Martínez, S. (2011). Assessment of salinity status in intensive cultivate soils under semiarid climate, Murcia, SE Spain. *Journal of Arid Enviroments*. Volumen 73, numero 11. 1056-1066p.
- Anderson, D; Sweeney, D; Williams, T (2008). *Estadística para la administración y la economía*. Editorial International Thomson. México, D.F. 1006p.
- ASORUT (2013). Listado de usuarios actualizado a 2013. Documentos internos ASORUT. La Unión, Valle del Cauca.
- Balba, A. (1995). *Management of problem soils arid ecosystems*. Press CRC. Printed United States of America. p251.
- Berenguer, Pilar. (2008). Nitrogen fertilization of irrigated maize under mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy*. Volumen 30
- Biau, A; Santiveri,F; Mijangos,I; Lloveras J.(2012). The impact of organic and mineral fertilizers on soil quality parameters and the productivity of irrigated maize crops in semiarid regions. *European journal of soil Biology*. Volume 53. 56-61p.
- Borrego, J; García, R; Granados, S; Luna, M; Pérez, J; Portero, R; Siles, M. (1994). *Ciencias de la naturaleza*. Editorial Universidad de Sevilla. España. 246p.
- Cabello, R. 1996. Producción de semilla sexual de papa: manual de producción de papa con semilla sexual. Centro internacional de la papa [CIP].Lima, Perú, Fasc. 216p.
- Cenicaña. (2002). Características agronómicas y de productividad de la variedad Cenicaña Colombia (CC) 85-92. Publicación Cenicaña. Cali, Colombia.
- Castro, H. Gómez, M. (2010). Fertilidad de suelos y fertilizantes. En: *Ciencias*

del suelo: principios básicos. Burbano, H; Silva, F. (Eds). Sociedad colombiana de la ciencia del suelo. Editorial Guadalupe. Bogotá, Colombia. 213-304p.

- Castro, L; Melgar R. (2005). Fosfatos. En: Minerales para la agricultura en latinoamérica. Nielson, H; Surudiasnky, R (Eds). Universidad Nacional de San Martin. Buenos Aires, Argentina. 1-237p. Consultado en: http://www.unsam.edu.ar/institutos/centro_ceps/investigaciones/fertilizantes/capitulo3.pdf. <http://www.unsam.edu.ar/publicaciones/tapas/cyted/parte1.pdf>
- CIAT. (2012). Cultivo de Maracuyá establecido con buenas prácticas agrícolas en el Centro Internacional de Agricultura Tropical. Programa de frutas tropicales. Documento de trabajo CIAT No. 219. Cali, Colombia.
- Darwish,T; Atallan, T; Moujabber M; Khatib, N.(2005). Salinity evolution and crop response to secondary soil salinity in two agro-climatic zones in Lebano. Agricultural water management. volume 78. 152-164p.
- Echeverri, A. (2015). Modelo de gestión del riesgo de salinización de suelos asociado a la calidad de agua de riego en el Distrito RUT. Propuesta doctoral, PhD en Ingeniería énfasis Ingeniería Sanitaria y Ambiental. EIDENAR. Universidad del Valle. Cali, Colombia.
- FAO. (1994). Water quality for agriculture. FAO irrigation and drainage paper. University of California. California, USA.
- FAO; IFA. (2002). Los fertilizantes y su uso. Recurso electrónico disponible en:<http://www.fertilizer.org/ifa/HomePage/LIBRARY/Publication-database.html/Los-fertilizantes-y-su-uso.-Una-guia-de-bolsillo-para-los-oficiales-de-extension.html>. Consultado en Septiembre de 2013.
- Finck, A; Hernando, D. (1988) Fertilizante y fertilización. Editorial Reverte S.A. Barcelona, España. 442p.
- Gómez, D. (2002). Evaluación de impacto ambiental. Editorial Mundi-Prensa. Río Pánuco, México. 755 p.

- Guerrero, R. (1995). Fertilización de cultivos en clima medio. Segunda Edición. Monómeros Colombo Venezolanos. Barranquilla, Colombia.
- Guerrero, R. (2004). Manual técnico: propiedades generales de los fertilizantes. Monómeros Colombo-venezolanos. Barranquilla, Colombia. 47p.
- Guerrero, R. (1981.) Características Físico - químicas de los fertilizantes. Editorial Monómeros Colombo venezolanos. 46p.
- Gutiérrez, H. (2009). Estrategias de muestreo: Diseño de encuestas y estimación de parámetros. Publicación Universidad Santo Tomas. Bogotá, Colombia. 507p.
- Jacob, A; Uexkull, H. (1991). Fertilización: nutrición y abonado de los cultivos tropicales y subtropicales. internationale handelmaatschappij voor Mespstoffen N.V. Holanda. 626p.
- López, M; Jiménez, I; Moreno, A. (2013). Operaciones auxiliares de abonado y aplicación de tratamientos en cultivos agrícolas. Editorial Cinapress. España. 145p.
- Magnitskiy, S. (2010). Manejo de fertilización en especies cultivados de pasifloráceas. Facultad de agronomía. Universidad Nacional de Colombia.
- Melgar, R. Díaz, M. (2008). La fertilización de cultivos y pasturas. Editorial Hemisferio Sur. Segunda edición. Buenos Aires, Argentina.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), Colombia (2012). Insumos y factores asociados a la producción agropecuaria. *Boletines Estadísticos 2009-2012*.
- Moreno, A. (2013). Caracterización climática y cálculo de necesidades de riego para el cultivo de maracuyá (*Passiflora edulis*) en la zona de influencia del distrito de riego RUT. Tesis pregrado, Universidad del Valle. Cali, Colombia. 131p.

- Mortved, J. (2001). Calculating Salt Index. Colorado State University. Fluid Journal. p8-11.
- Navarro, S; Navarro, G. (2003). Química Agrícola. Ediciones Mundi-Prensa. México. 487p.
- Plaster, E. (2000). La ciencia del suelo y su manejo. Editorial Paraninfo. España. 419p.
- PROMOSTA. (2005). El cultivo del Melón. Proyecto de modernización de los servicios de tecnología agrícola. Costa Rica.
- Quintero, R. (1995). CENICAÑA: El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. Cali, Colombia. 394p.
- Rader, L. White, L. Whittaker, C. (1943). The salt index-a measure of the effect of fertilizar son the concentration of the soil solution. Soil science. Vol 55. United States. p201-218.
- Reyes, J. Vásquez, R. Trémols A (2005). Introducción a la agroquímica. Editorial Universidad Autónoma de Puebla. México. 82p.
- Saaty, T (1980): The analytic hierarchy process. McGraw-Hill, New York.
- Saavedra y Angulo. (2014). Diagnóstico de la amenaza química de los suelos debido al agua de riego superficial en el Distrito de riego RUT. Tesis de pregrado. Universidad del Valle. Cali, Colombia.
- Suquilanda, Manuel. (1995). Serie agricultura orgánica: alternativa tecnológica del futuro. Ediciones UPS. Ecuador. 654p.
- Tenorio, M. (1986). Diagnóstico del problema de salinidad y drenaje del Distrito de adecuación de tierras Roldanillo-La Unión-Toro. RUT. La Unión, Valle del Cauca.
- Thompson, L; Troe. (2002). Los suelos y su fertilidad. Editorial Reverte S.A.

España. 657p.

- Urrutia, N; Dossman, C. (2007). Una visión moderna para el manejo del Distrito de Riego y Drenaje RUT. La Habana, Cuba. 17p.

ANEXOS

Anexo 1. Formato de encuesta

MODELO DE GESTIÓN DEL RIESGO DE SALINIDAD DE SUELOS EN EL RUT PRÁCTICAS DE FERTILIZACIÓN



Fecha			
Encuestador			
Propietario		Nombre Predio	
Trabajador		Código Predio	
Cultivo y Área (ha)		Variedad	
*LABORES MECANIZACIÓN			
Arado		Rastrillado	
Nivelación		Surcado	
Cincelado		Subsolado	

*Enumere las labores en orden cronológico.

Fecha Siembra (d-m-a)						Fecha Cosecha (d-m-a)					
PRÁCTICAS CULTURALES DESPUES DE LA SIEMBRA											
*Práctica		Fecha (después de siembra)				Observación					
1											
2											
3											
4											
5											
6											

*Indique las labores en orden cronológico.

FERTILIZACIÓN: CRITERIO DE APLICACIÓN		
Criterios	Selección (X)	Observación
Cultural		
Recomendación		
Diag. Análisis de Suelo-Planta		

FERTILIZACIÓN: CRITERIO DE APLICACIÓN							
Producto	Dosis (kg/ha)	No. Aplicaciones	*Método (#)	Época Cultivo			

*Ver Tabla 1. Métodos de Fertilización.

CRITERIO PROGRAMACIÓN DE RIEGO		
Criterios	Selección (X)	*Método (#)
Cultural		
Recomendación		
Criterio Técnico		

*Ver Tabla 1. Métodos de Riego.

Tabla 1. Métodos de fertilización y Métodos de riego.

Número (#)	Mét. Fertilización	Mét. Riego
1	Voleo	Superficial
2	Chorrillo	Aspersión
3	Corona	Localizado
4	Fertirrigación	
5	Foliar	
6	Fertirrigación Manual	

Anexo II. *Categorización del Índice de salinidad de los cultivos prevalentes del Distrito RUT.*

Cultivos	IS	Calificación	V. Normalizado
Caña de Azúcar	93,40	Alto	0,80
Maíz	97,70	Alto	0,80
Guayaba	78,20	Medio	0,60
Pasto	75,50	Medio	0,60
Vid	67,27	Medio	0,60
Papaya	66,70	Medio	0,60
Maracuyá	71,11	Medio	0,60
Melón	63,33	Medio	0,60
Soya	36,97	Bajo	0,40